



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

ZAKŁAD KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ
ZAKŁAD SYSTEMÓW RADIOWYCH
CENTRALNE LABORATORIUM BADAWCZE

Platforma cyfryzacji radiofonii i telewizji

Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej finansowanej ze środków statutowych

Raport nr Z21/21300046/1012/06

Warszawa-Wrocław, grudzień 2006 r.

Nr pracy : Z21/21300046; CLB/09300016; Z1/01300046

Nazwa pracy : Platforma cyfryzacji radiofonii i telewizji

Zlecniodawca : Praca statutowa

Data rozpoczęcia : Styczeń 2006 r.

Data zakończenia : Grudzień 2006 r

Słowa kluczowe : cyfryzacja, DVB-T; DRM, MPEG2, MPEG4, radiodifuzja cyfrowa, planowanie sieci radiodifuzyjnych, optymalizacja sieci, sieć SFN, plan RRC

Kierownik pracy : dr inż. Dariusz Więcek

Wykonawcy pracy : dr inż. Alina Karwowska-Lamparska
mgr inż. Małgorzata Kondrat
mgr inż. Andrzej Chudziński
dr inż. Janusz Sobolewski
dr inż. Dariusz Więcek
mgr inż. Jacek Wroński
mgr inż. Łukasz Baran
mgr inż. Bartłomiej Gołębiowski
mgr Bożena Kubicka
mgr inż. Małgorzata Kondrat
mgr inż. Justyn Połujan
prof. dr hab. Ryszard Strużak
mgr inż. Aleksander Orłowski
mgr inż. Seweryn Kobyliński
mgr inż. Dariusz Oleszczuk
inż. Andrzej Dusiński
inż. Piotr Jaros

Praca wykonana w Zakładzie Systemów Radiowych i Centralnym Laboratorium Badawczym Instytutu Łączności w Warszawie oraz w Zakładzie Kompatybilności Elektromagnetycznej Z-21 we Wrocławiu,

Kierownik Zakładu Z21: dr inż. Janusz Sobolewski

Kierownik Zakładu Z-1: mgr inż. Aleksander Orłowski

Kierownik CLB: mgr inż. Adam Borowski

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

© Copyright by Instytut Łączności, Warszawa-Wrocław 2006

Spis treści:

1.	Wstęp	5
2.	Metody implementacji i optymalizacji planów sieci radiodifuzji cyfrowej	7
2.1.	Konferencja RRC i Plan Cyfrowy GE'06	7
2.1.1.	Konfiguracje planistyczne wykorzystywanie w analizach	23
2.1.2.	Procedura sprawdzania zgodności z Planem GE'06	26
2.2.	Optymalizacja sieci.....	40
2.3.	Podsumowanie.....	51
2.4.	Literatura	51
3.	Analiza i badanie algorytmów kodowania MPEG2, AVC/H264 (MPEG4).....	54
3.1.	Wprowadzenie.....	54
3.2.	Podstawowe różnice standardów MPEG-2 i AVC/H264.....	54
3.3.	Uzasadnienie konieczności przeprowadzania pomiarów i wyboru metody pomiaru oraz podstawowe założenia	56
3.4.	Analiza prac organizacji międzynarodowych w tym zakresie	59
3.5.	Metodyka pomiarów subiektywnych	61
3.5.1.	Opis ogólny.....	61
3.5.2.	Rodzaje metod subiektywnych	62
3.6.	Specyfika pomiarów subiektywnych dla telewizji cyfrowej.....	63
3.6.1.	Omówienie ogólne	63
3.6.2.	Warunki obserwacji.....	64
3.7.	Badania w warunkach laboratoryjnych	64
3.8.	Warunki badań w warunkach domowych	64
3.8.1.	Wybór obrazów kontrolnych.....	65
3.8.2.	Procedura określenia krytyczności obrazu.....	65
3.9.	Wybór metody badań i jej podstawowych parametrów.....	66
3.9.1.	Omówienie ogólne	66
3.9.2.	Parametry wybranej metody	67
3.10.	Podsumowanie	71
3.11.	Wykaz literatury.....	71
4.	Analiza warunków budowy sieci ogólnokrajowych i/lub regionalnych DRM w zakresie MF	72
4.1	Wstęp.....	72
4.2	Wprowadzenie	72
4.2.1	Wymagania ogólne odnośnie systemu cyfrowego	73
4.2.2	Porównanie właściwości systemu AM i DRM.....	75
4.2.3	Opis systemu DRM	76
4.2.4	Kodowanie sygnałów akustycznych	82
4.3	Emisje SCS – nadawanie DRM i AM we wspólnym kanale	89
4.4	Sieci jedno- i wieloczęstotliwościowe	93
4.5	Dystrybucja sygnałów do nadajników DRM	94
4.6	Kontrola emisji DRM	96
4.7	Wymagania ITU dotyczące nadajników poniżej 30 MHz.....	97
4.8	Regulacje wynikające z Dyrektywy 1999/5/WE.....	99
4.9	Weryfikacja map pokrycia Polski.....	100

4.9.1	Wprowadzenie	100
4.9.2	Analiza map pokrycia z wykorzystaniem programu AnaZas	101
4.9.3	Analiza multipleksu 2A	102
4.9.4	Analiza multipleksu 3A	105
4.9.5	Analiza multipleksu 4A	109
4.9.6	Analiza bez zakłóceń przemysłowych	112
4.9.7	Analiza z obecnością stacji zakłócających	113
4.10	Dodatek A – Charakterystyka programu AnaZas	114
4.10.1	Dodatek B – Raport tekstowy z analizy wpływu stacji zakłócających na zasięg stacji Koszalin (mała moc: 5 kW)	118
4.10.2	Dodatek C - Raport tekstowy z analizy wpływu stacji zakłócających na zasięg stacji Koszalin (duża moc: 60 kW)	121
4.11	Podsumowanie	124
4.12	Definicje	125
4.13	Bibliografia	126
5.	Współpraca z Międzyresortowym Zespołem ds. Wprowadzenia Telewizji i Radiofonii Cyfrowej w Polsce	129
6.	Podsumowanie	130
	Stosowane akronimy	132
	Załączniki	134

1. Wstęp

W roku 2006 odbyła się Regionalna Konferencja Radiokomunikacyjna RRC'06, którą zakończyło podpisanie porozumienia-traktatu międzynarodowego Genewa'06, który będzie podstawowym planem wykorzystania częstotliwości dla potrzeb radiodifuzji naziemnej przez następne wiele lat. Poprzedni tego typu plan podpisano w Sztokholmie w roku 1961 i obowiązywał do roku 2006. W Konferencji RRC'06 uczestniczyły wszystkie kraje Europy, Afryki, Bliskiego Wschodu i Iran a także kraje byłego ZSRR. Podpisanie Planu Genewa'06 (GE'06) w znaczący sposób wpłynie na przyspieszenie prac dotyczących cyfryzacji radiodifuzji naziemnej na świecie, w paśmie UHF emisje analogowe przestaną być chronione w roku 2015 a więc do tej daty powinna nastąpić całkowita cyfryzacja emisji naziemnej. Polska uzyskała na Konferencji, zgodnie ze zgłoszonym zapotrzebowaniem, 7 pokryć ogólnopolskich (multipleksów) DVB-T w paśmie UHF, 1 w paśmie VHF oraz 3 pokrycia T-DAB/T-DMB w paśmie VHF. Uzyskanie gwarancji wykorzystania częstotliwości poprzez wpisanie ich do Planu GE'06 spowodowało znaczne przyspieszenie prac związanych z cyfryzacją – w Niemczech planuje się całkowite wyłączenie emisji analogowej TV w 2008 roku, podobnie w Szwecji, zaawansowane plany w tym względzie mają też Czesi.

Jedną z kluczowych cech systemów radiodifuzji cyfrowej, takich jak DVB-T, jest lepsze wykorzystanie widma radiowego co skłania rządy państw do wspierania rozwoju technologii w tych dziedzinach. W Polsce w maju 2005 Rząd RP przyjął „Strategię przejścia na nadawanie cyfrowe w zakresie telewizji naziemnej” mającą na celu zastąpienie naziemnej telewizji analogowej i wyłączenie TV analogowej w 2014 roku. W wyniku dyskusji wywołanej przez nadawców prywatnych w połowie 2005 roku KRRiT rozpoczęła dyskusję - konsultacje odnośnie zastosowania systemu kompresji MPEG4 AVC w pierwszych multipleksach DVB-T. Spowodowało to zawieszenie procedur i terminów określonych w Strategii oraz wstrzymanie procedury konkursowej. Po wyborach 2005 i zmianie składu KRRiT oraz zmianie kompetencji i uprawnień Rady w wyniku nowelizacji Prawa Telekomunikacyjnego, dalsze postępowania odnośnie wdrażania procedur konkursowych telewizji cyfrowej przejął UKE. Ze względu na dezaktualizację Strategii spowodowanej wspomnianym opóźnieniem Ministerstwo Budownictwa i Transportu rozpoczęło konsultacje odnośnie nowelizacji Strategii. Przywrócono także do działalności Zespół Międzyresortowy do spraw ds. Wprowadzenia Telewizji i Radiofonii

Cyfrowej w Polsce. Ze względu na występowanie różnych, często sprzecznych opinii, względów biznesowych różnych zaangażowanych firm oraz sprzecznych interesów nie udało się przeprowadzić nowelizacji Strategii w roku 2006. IŁ uczestniczy aktywnie w pracach krajowych – wspomaga Administrację w pracach związanych z planowaniem częstotliwości (współpraca z UKE), realizuje projekt badawczy MNiSW wspomagający proces planowania sieci DVB-T w Polsce i plany wyłączeń nadajników analogowych, uczestniczy też w konsultacjach dokumentów i propozycji nowelizacji Strategii, przedstawił też własną wizję procesu cyfryzacji i wyłączeń nadajników analogowych. Niestety problemy techniczne, które w dość prosty sposób mogą być rozwiązane i nie stanowią obecnie blokady procesu cyfryzacji, stanowią niewielką część spraw koniecznych do rozwiązania, sprawiając by cyfryzacja ruszyła szerokim frontem. Główne problemy koncentrują się wokół spraw prawnych, biznesowych, woli politycznej i zaangażowania Państwa. Brak działań w tym względzie spowoduje znaczne trudności w późniejszym szybkim wyłączeniu emisji analogowej, może też oznaczać, iż w sieciach analogowych w Polsce pojawią się zakłócenia od sieci cyfrowych zza granicy, ze względu na postępujący proces masowego uruchamiania emisji cyfrowej w Niemczech, Szwecji czy Czechach.

W pracy niniejszej kontynuowano prace realizowane w latach poprzednich w Zakładach: Z1 – Zakład Systemów Radiowych, Z21 – Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej, CLB – Centralne Laboratorium Badawcze. W roku bieżącym zajęto się głównie kwestiami technicznymi związanymi z cyfryzacją radiofonii i telewizji, przeprowadzono też pewne prace i analizy ogólniejsze związane z udziałem w pracach Zespołu Międzyresortowego. Realizowane były 4 główne zadania:

1. Metody implementacji i optymalizacji planów sieci radiodifuzji cyfrowej, kierownik zadania: dr inż. Dariusz Więcek. (Rozdział 2)
2. Analiza i badanie algorytmów kodowania MPEG2, MPEG4, H.264, kierownik zadania: dr inż. Alina Karwowska-Lamparska. (Rozdział 3)
3. Analiza warunków budowy sieci ogólnokrajowych i/lub regionalnych DRM w zakresie fal średnich; kierownik zadania: mgr inż. Aleksander Orłowski. (Rozdział 4)
4. Współpraca z Międzyresortowym Zespołem ds. Wprowadzenia Telewizji i Radiofonii Cyfrowej w Polsce, kierownik zadania: dr inż. Dariusz Więcek. (Rozdział 5)

Sprawozdanie z pracy podzielono na części wg kolejnych zadań.

2. Metody implementacji i optymalizacji planów sieci radiodifuzji cyfrowej

Podczas Konferencji RRC'06 zatwierdzono Plan cyfrowy GE'06 oraz podpisano Porozumienie GE'06 zawierające procedury techniczno – prawne związane z wdrażaniem naziemnej radiodifuzji cyfrowej [5]. Oprócz informacji o Planie Cyfrowym Porozumienie zawiera informacje dotyczące Planu stacji analogowych, które będą podlegać ochronie w tzw. okresie przejściowym – czyli do czasu wyłączenia emisji analogowej, nie dłużej jednak niż do 17.06.2015. Po tym terminie wszelkie telewizyjne emisje analogowe w Polsce i w krajach sąsiednich (o ile nadal będą istnieć) nie będą podlegać ochronie ze strony stacji cyfrowych i innych służb. Ponadto Porozumienie GE'06 obejmuje także listę stacji innych służb (nie radiodifuzyjnych), które będą podlegać ochronie ze strony emisji cyfrowych.

Plan GE'06 będzie implementowany w oparciu o procedury Porozumienia GE'06, przedstawione dalej, których celem jest zagwarantowanie utrzymania sytuacji kompatybilnej pracy uzyskanej w drodze analiz i deklaracji między krajami podczas Konferencji RRC'06. Ponadto na implementację Planu będą miały wpływ warunki lokalne – posiadana sieć obiektów nadawczych, morfologia terenu, tryby emisji i oczekiwania nadawców a zwłaszcza koszty związane z budową infrastruktury sieci (CAPEX). Przykłady takiej optymalizacji struktur sieci podano na zakończenie Rozdziału 2.

2.1. Konferencja RRC i Plan Cyfrowy GE'06

Regionalna Konferencja Radiokomunikacyjna została zwołana na podstawie Uchwały 1185 podjętej przez Radę ITU w 2000 r. i zmodyfikowanej w 2003 r. Podstawowym celem Konferencji było opracowanie i uzgodnienie planów częstotliwości dla radiofonii i telewizji cyfrowej w zakresach 174 – 230 MHz i 470 – 862 MHz , a także rewizja dotychczas obowiązujących porozumień Sztokholm '61 i Genewa '89 – czyli regionalnych planów telewizji analogowej.

Konferencja odbywała się w trzech etapach:

- Sesja pierwsza – od 9 do 29 maja 2004 r.
- Międzyseesyjny okres przygotowawczy od czerwca 2004 do maja 2006 r.
- Sesja druga – od 15 maja do 16 czerwca 2006 r.

Podstawowym zadaniem pierwszej sesji było przygotowanie podstaw technicznych dla ułatwienia prac drugiej sesji w postaci uzgodnionych definicji, wartości parametrów i

metod planowania, a także zaplanowanie harmonogramu i trybu działania w okresie międzysesyjnym.

Zadaniem drugiej sesji konferencji było ustanowienie nowego Porozumienia regionalnego i planu naziemnej radiofonii i telewizji cyfrowej w regionie 1 i w części Regionu 3, w zakresach częstotliwości 174 – 230 MHz i 470 – 862 MHz oraz przeprowadzenie dwóch krótkich konferencji dla rewizji Porozumień regionalnych Sztokholm'61 i Genewa'89 – czyli obowiązujących do 16 czerwca 2006 r planów regionalnych telewizji analogowej.

W konferencji wzięło udział 972 delegatów reprezentujących 104 kraje z regionów objętych planowaniem. Ponadto w konferencji uczestniczyło, na statusie obserwatorów, 38 przedstawicieli organizacji regionalnych i zawodowych, placówek naukowo-badawczych oraz reprezentujących kraje nie będące członkami ITU. W konferencji nie wzięło udziału 16 krajów z rejonu planowania. Część z nich przekazała pełnomocnictwa jednemu z krajów sąsiadujących, obronę interesów pozostałych krajów wzięło na siebie Biuro Radiokomunikacyjne ITU.

Prace konferencji RRC'06 można podzielić na 3 zasadnicze elementy:

- Sprawy proceduralno-prawne: przygotowanie tekstu i uzgodnienie procedur prawnych wdrożenia i obowiązywania Porozumienia Genewa 2006, które stanowi traktat międzynarodowy obowiązujący wszystkich sygnatariuszy.
- Sprawy techniczne: opisanie technicznych zasad planowania przyjętych na Konferencji, uzgodnienie technicznych kryteriów koordynacji międzynarodowej wykorzystywanych po Konferencji do uzgodnień międzynarodowych.
- Przygotowanie Planu: w ramach Konferencji odbyły się 4 iteracje generowania Planu na bazie zapotrzebowań zgłaszanych przez poszczególne kraje. Wykorzystano oprogramowanie opracowane w ramach prac międzysesyjnych przy współpracy EBU i ITU a obliczenia były wykonywane przy pomocy sieci komputerowej ITU i sieci ogólnosiwiatowej instytutu badań nuklearnych CERN w Genewie.

Zasadnicze prace techniczne Konferencji RRC'06 koncentrowały się wokół działalności Komitetu 4 przygotowującego Plan oraz Komitetu 5 przygotowującego dokumenty techniczne Porozumienia.

Celem uzyskania optymalnego planu częstotliwościowego dla radiofonii telewizji cyfrowej w trakcie konferencji w ramach działalności Komitetu 4 przewidziano 4 iteracje działań planistycznych, przeprowadzane w kolejnych tygodniach konferencji wg z góry ustalonego harmonogramu. Obliczenia były prowadzone siłami Biura Radiokomunikacji ITU, wspomaganego przez system informatyczny CERN'u (Centre Européen de

Recherches Nucléaire) Wyniki kolejnych iteracji były przedstawiane w każdy poniedziałek (począwszy od drugiego tygodnia konferencji), a w ostatnim tygodniu w niedzielę, na posiedzeniu Komitetu 4. W okresach między ogłoszeniem wyników, a terminem zgłaszania wymagań do kolejnej iteracji administracje prowadziły negocjacje i rozmowy koordynacyjne dotyczące zgłaszanych wymagań, zmian w stosunku do poprzedniej wersji planu oraz wzajemnych deklaracji administracyjnych dotyczących kompatybilności obszarów rezerwacji i przydziałów częstotliwości.

Rolę koordynatora i weryfikatora działań planistycznych powierzono regionalnym Grupom Koordynacyjno-Negocjacyjnym, które konstruowano pod kątem zbliżonych warunków propagacyjnych. Powołano 5 takich grup: CNG1 – Europa i część wschodnia obszaru planowania, CNG 2 – Afryka Centralna i Zachodnia, CNG 3 – Afryka Południowa i Wschodnia, CNG 4 – rejon Morza Czerwonego, CNG 5 – rejon Morza Śródziemnego. Europejska CNG 1, obejmująca olbrzymi obszar planowania i 54 kraje została podzielona na 6 podgrup – Polska znalazła się w podgrupie drugiej – SubCNG 1_2, obejmującej kraje Europy środkowej, północnej (Skandynawia) i wschodniej.

Wymagania ze strony polskiej do pierwszej iteracji zostały zgłoszone do ITU zgodnie z harmonogramem do dnia 21 kwietnia 2006 r. Zawierały one dane dotyczące obszarów rezerwacji oraz konkretnych przydziałów (stacji) związanych z tymi obszarami. W pierwszym tygodniu konferencji (pierwsza iteracja) dostarczano dla celów analizy kompatybilności deklaracje administracyjne. W wyniku negocjacji poprzedzających drugą iterację pomyłki zostały skorygowane i uzyskany wynik 100 % kompatybilności został utrzymany do końca, to znaczy do ustalenia planu docelowego.

Przy przekazywaniu wymagań dla potrzeb drugiej i trzeciej iteracji administracja polska wprowadziła kilka zmian w zakresie parametrów (głównie charakterystyk kierunkowych) zgłaszanych przydziałów. Jednakże w ciągu całego okresu planowania, przy zgłaszaniu wymagań i deklaracji administracyjnych do kolejnych iteracji planu konieczne było dokonywanie analiz i obliczeń, celem oceny wpływu na elementy polskiego planu zmian proponowanych przez naszych sąsiadów. Rozmowy i negocjacje prowadzone w trakcie trwania konferencji doprowadziły do podpisania całego szeregu porozumień bilateralnych, w odniesieniu zarówno do konstruowanego planu, jak i do jego implementacji po zakończeniu konferencji.

W tabeli poniższej zestawiono procentowe wyniki kompatybilności uzyskane w kolejnych iteracjach. Tłustym drukiem w nawiasach kwadratowych oznaczone są wyniki polskiej administracji.

	T-DAB VHF	DVB-T VHF	DVB-T UHF
Pierwsza iteracja	69,5 [92,5]	57,9 [76]	73,9 [92]
Druga iteracja	78 [100]	66,6 [100]	85 [100]
Trzecia iteracja	88,7 [100]	78,6 [100]	93,5 [100]
Czwarta iteracja = Plan	95 [100]	90,4 [100]	98 [100]

Jak widać zgłoszone zapotrzebowania Administracji Polskiej zostały zaspokojone w 100%. Administracja wnioskowała o 7 pokryć ogólnokrajowych DVB-T w paśmie UHF, o 1 pokrycie DVB-T w paśmie VHF i 3 pokrycia T-DAB/T-DMB w paśmie VHF. Dodatkowo w kilku regionach uzyskano pojedyncze obszary rezerwacji mogące stanowić załączek kolejnej warstwy. Wszystkie kraje sąsiednie uzyskały również 7 pokryć w paśmie UHF, w niektórych przypadkach udało się uzyskać nawet 1 lub 2 pokrycia więcej, najczęściej lokalnie, nie na obszarze całego kraju.

Rozmowy i negocjacje prowadzone w trakcie trwania konferencji doprowadziły do pod-pisania całego szeregu porozumień bilateralnych, w odniesieniu zarówno do konstruowanego planu, jak i do jego implementacji po zakończeniu konferencji. W ich wyniku następowały dodatkowe uzgodnienia kryteriów planistycznych i koordynacyjnych, które były nieco odmienne od przyjętych w ramach Konferencji GE'06. Celem tych porozumień było doprowadzenie do prostszej implementacji Planu GE'06 dzięki złagodzeniu kryteriów ochronnych, często zbyt rygorystycznych, zawartych w materiałach GE'06.

Zadaniem Komitetu 5 było przygotowanie projektu technicznych i regulacyjnych zawartości Porozumienia w pasmach 174-230 MHz i 470 862 MHz użytkowanych przez służbę radiodifuzji i inne służby pierwszej ważności oraz określenie relacji Porozumienia GE06 z porozumieniami ST61 i GE89 w odniesieniu do harmonijnego wdrażania tych Porozumień. Komitet działał w oparciu o wcześniej przygotowane dokumenty: Raport pierwszej sesji, propozycje nadesłane przez poszczególne kraje i grupy regionalne (w tym ECP przygotowane przez CEPT), raporty grup studiów ITU-R, raport Dyrektora ITU-R oraz raport grupy międzysesyjnej RPG.

Komitet 5 został podzielony na 2 grupy robocze WP5A i WP5B. Grupa WP5A otrzymała zadanie przygotowania zasadniczego tekstu Porozumienia GE06 obejmującego

procedury prawne związane z jego wdrażaniem oraz harmonijnego współistnienia z Porozumieniami ST61 i GE89. Szefem grupy był J. Chartier - Francja.

Na Akta końcowe Porozumienia GE06 składa się 12 artykułów, z których zasadnicze znaczenie dla funkcjonowania Porozumienia mają Artykuły 3, 4, 5 i 12.

ARTYKUŁ 3 składa się 5 Aneksów, z których pierwszy (Annex 1) stanowi Plan częstotliwościowy, przygotowany przez Komitet 4 (punkt B3.3).

ARTYKUŁ 4 zawiera opis procedur związanych z modyfikacjami Planów, zarówno cyfrowego jak i analogowego oraz koordynacji z innymi służbami pierwszej ważności. Muszą być one stosowane w przypadku zmian parametrów, uzupełnień lub wykreśleń z Planów stacji radiodfuzyjnych przed ich notyfikacją zgodnie z Artykułem 5.

ARTYKUŁ 5 zawiera opis procedur związanych z notyfikacją przydziałów częstotliwości przez Biuro Radiokomunikacyjne ITU, zgodnie z Artykułem 11 Regulaminu Radiokomunikacyjnego

ARTYKUŁ 12 określa wejście w życie, czas trwania oraz regulacje tymczasowe Porozumienia. Wchodzi ono w życie 17 czerwca 2007 roku, natomiast od 17 czerwca 2006 r. będzie okresem zdefiniowanym jako tymczasowy. Artykuł określa również czas trwania tzw. okresu przejściowego (transition period) do 16.06.2015 z określonymi wyjątkami, które opisano niżej.

Prace nad uzgodnieniem wspólnego stanowiska w skali regionu w kwestii poszczególnych zapisów wymienionych wyżej artykułów trwały praktycznie przez cały czas, od pierwszych do ostatnich dni konferencji. Dyskusje odbywały się na poziomie grupy WG5A i grup redakcyjnych, przenoszono je na poziom obrad Komitetu 5, a nawet na sesje planarne. Rozwiązanie najtrudniejszych kwestii spornych:

- czas trwania okresu przejściowego (transition period),
- sposób identyfikacji innych służb pierwszej ważności
- sposób notyfikacji i ochrony służb „alternatywnych” do DVB-T nie

definiowanych w Regulaminie Radiokomunikacyjnym zostało wypracowane w wyniku wielokrotnych spotkań nieformalnych przedstawicieli grup regionalnych w formie pakietu (tzw. marvellous package) zawierającego cały szereg ustępstw i kompromisów.

Bardzo trudny do osiągnięcia, kompromis dotyczył czasu trwania okresu przejściowego. Pozycje wyjściowe były następujące: 2012 r. – CEPT, 2015 r. – RCC, 2020 do 2025 – kraje afrykańskie i arabskie. Dążeniem konferencji, wyrażonym już na jednej z pierwszych sesji plenarnych, było uzgodnienie jednego terminu zakończenia okresu przejściowego dla całego obszaru planowania. W ramach kompromisu kraje CEPT

zgodziły się na wydłużenie okresu przejściowego o trzy lata w zamian za możliwość ochrony tzw. służb alternatywnych w stosunku do służby radiodifuzyjnej DVB-T i T-DAB, nie definiowanych w Regulaminie Radio-komunikacyjnym nawet jako służby drugiej ważności. Był to kolejny niezwykle trudny problem do rozwiązania, szczególnie wobec faktu, że część krajów Europy zachodniej i północnej zamierza w najbliższym czasie wykorzystać tzw. dywidendę cyfrową dla implementacji np. DVB-H czy UMTS, a wprowadzenie służb alternatywnych do RR może nastąpić dopiero w wyniku decyzji konferencji WRC-07 .

W ramach „pakietu” uzgodniono termin zakończenia okresu przejściowego na rok 2015 w całym obszarze planowania, pozostawiając krajom arabskim i afrykańskim możliwość przedłużenia tego okresu do roku 2020 jedynie w paśmie III. Warunki ochrony innych służb pierwszej ważności oraz tzw. służb alternatywnych zostały zdefiniowane w paragrafach 5.1.2 i 5.1.3 a Artykule 5, zdaniem przedstawicieli niektórych krajów zbyt mało elastyczne..

Dyskusje nad „pakietem” odbywały się również w gronie przedstawicieli krajów CEPT, a uzgodnienie wspólnego stanowiska okazało się niełatwe. W efekcie (w wyniku głosowania 18 za, 8 przeciw) kraje CEPT akceptowały kompromis zawarty w pakiecie oraz postanowiły dołączyć do Porozumienia Deklarację wyrażającą wolę implementacji służb alternatywnych za zachowaniem pełnej ochrony służb radiodifuzyjnych. Deklarację podpisało również kilka krajów pozaeuropejskich.

Delegacja polskiej administracji głosowała za przyjęciem pakietu, jako jedynej możliwości osiągnięcia kompromisu między grupami regionalnymi.

Grupa WP5B zajęła się przygotowywaniem aneksów technicznych do Porozumienia (Aneksy 2 – 5), które stanowią najbardziej rozbudowaną objętościowo część Porozumienia GE06. Szefem grupy został P. Pettersson - Szwecja. W ramach grupy WG5B zostało powołanych 7 grup redakcyjnych które rozważały wskazane niżej kwestie.

Grupa 5B1 zajmowała się problemem dodatkowych marginesów ochronnych. Zgodnie z propozycją administracji Rosji na zebraniach grupy IPG przed RRC'06 przyjęto dodatkowy margines ochronny w wysokości 6dB w odniesieniu do innych służb, który byłby uwzględniany podczas analiz i generowania Planu. Wiele innych krajów nie zaakceptowało tego dodatkowego marginesu obowiązującego w trakcie przyszłej koordynacji (po Konferencji). W wyniku dyskusji na szczeblu międzyregionalnym oraz na poziomie przewodniczącego Konferencji uzgodniono ochronę przydziałów częstotliwości i uwzględnianie w niektórych przypadkach dodatkowego marginesu z zakresu do 6dB,

ustalanego indywidualnie dla każdej służby. Uzgodnione wartości zostały wpisane do Aneksu 4 sekcja 1, której całość była redagowana w ramach prac grupy 5B6.

Grupa 5B2 dokonała zmian (głównie stylistycznych) w materiale RRC'04 oraz na bazie bieżących prac SG3 ITU-R zaktualizowała procedury związane z obliczeniami tras mieszanych lądowo-morskich. Występujące w materiale RRC'04 krzywe propagacyjne przyjęto jako niezmiennione.

Grupa 5B3 przygotowywała aneksy techniczne związane z planowaniem DVB-T, T-DAB i współużytkowaniem widma przez systemy radiodfuzyjne analogowe i cyfrowe. Na bazie dostępnych materiałów opracowano Rozdział 3 Aneksu 2 do Porozumienia GE'06 obejmujący dane na temat kanałów częstotliwości, wymagań związanych z planowaniem sieci, współczynników ochronnych systemów radiodfuzyjnych i innych wymagań koordynacyjnych (m.in. maski widma). Przyjęte wartości będą stosowane podczas modyfikacji Planu GE06 oraz w trakcie przyszłej koordynacji międzynarodowej.

Grupa 5B4 przygotowywała Sekcję 2 Aneksu 4 do Porozumienia obejmującą procedury techniczne sprawdzające zgodność nowo koordynowanych lub notyfikowanych stacji z Planem GE06 wykonywane w trakcie realizacji procedur Artykułu 4 (modyfikacja Planu) i Artykułu 5 (notyfikacja stacji). Przyjęto procedury sprawdzające, czy wnioskowana zmiana lub notyfikacja przydziału częstotliwości nie przekracza dopuszczalnego poziomu pól zakłócających generowanych przez sieci odniesienia obszarów rezerwacji występujących w Planie lub przydziałów częstotliwości wpisanych do Planu

Grupa 5B5 przygotowała materiał na temat metod analizy kompatybilności systemów radiodfuzyjnych i systemów innych służb. W trakcie dyskusji i kompromisu osiągniętego w grupie uznano, że kryteria te mają być stosowane podczas implementacji Planu oraz podczas koordynacji przyszłych stacji, o ile nie występują w tym zakresie inne wzajemne porozumienia między Administracjami.

W regionalnym Planie cyfrowym Polska uzyskała rezerwacje umożliwiające ośmiokrotne pokrycie kraju sieciami DVB-T w pasmach III, IV i V (osiem warstw w planie), oraz trzykrotne pokrycie sieciami T-DAB w paśmie III.

W ramach późniejszej modyfikacji Planu możliwa jest zmiana przeznaczenia sieci obecnie dedykowanych dla DVB-T czy T-DAB, zgodnie z kryteriami przyjętymi w Aneksach 2 – 5 w Artykule 3. Przyjęty dla całego regionu jeden termin zakończenia ochrony emisji stacji analogowych o północy z 16 na 17 czerwca 2015 roku (wyjątki nie dotyczą europejskiego obszaru nadawczego) jest o 5,5 miesiąca dłuższy od zakładanego

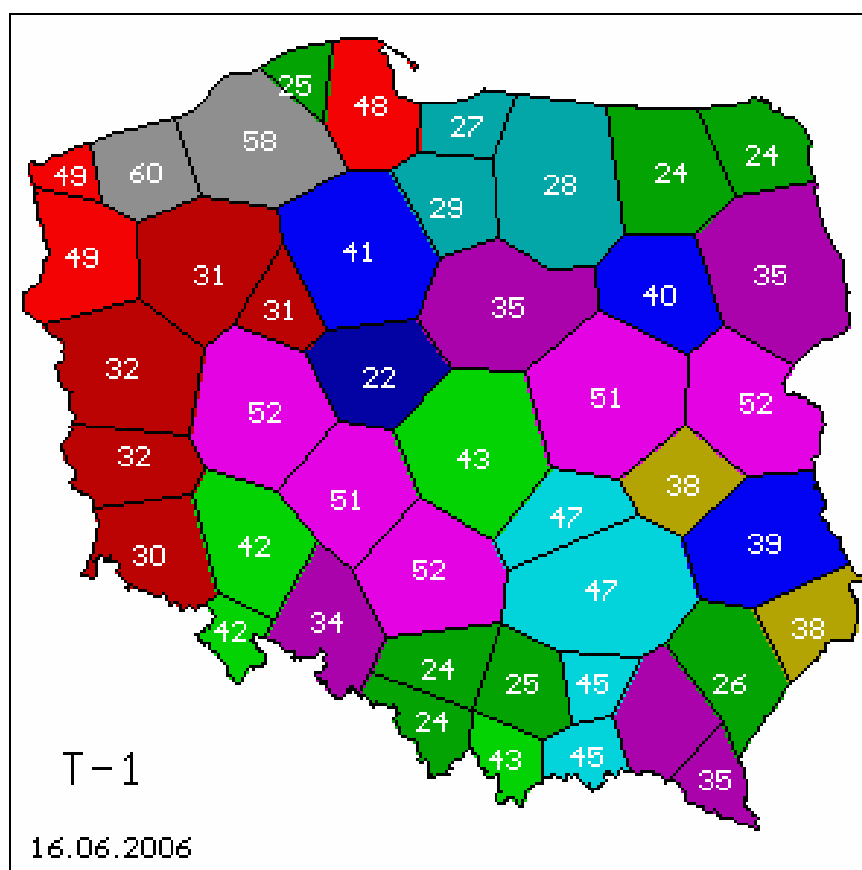
na koniec 2014 r., co może stanowić rezerwę na nieprzewidziane wydłużenie terminu switchoff'u w Polsce (Artykuł 12).

W polskim planie cyfrowym ujęto zarówno obszary rezerwacji (allotments) jak i konkretne przydziały częstotliwości (assignments) związane z tymi obszarami. Konwersja obszaru rezerwacji na grupę przydziałów (sieci SFN) następuje zgodnie z Artykułem 3 Porozumienia

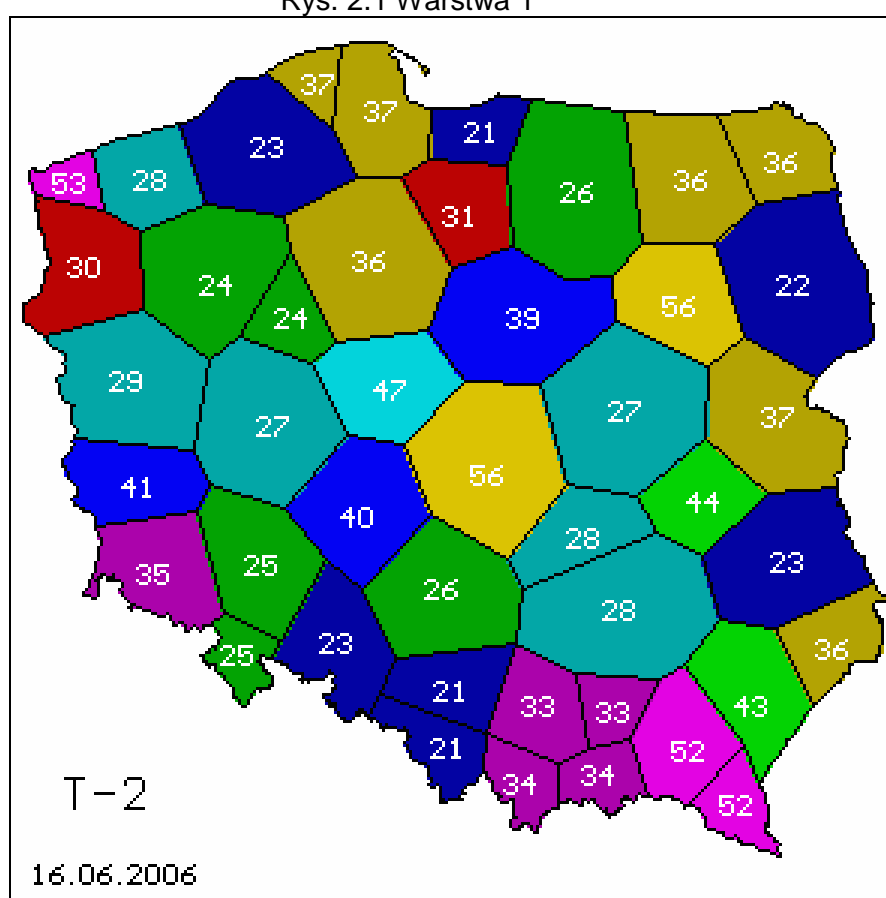
Wyniki uzyskane na konferencji są satysfakcjonujące z punktu widzenia rozwoju naziemnej radiodifuzji cyfrowej. Podstawowym zadaniem polskiej administracji łączności na najbliższy okres jest właściwe zaprojektowanie okresu przejściowego, tak aby przejście od nadawania analogowego do pełnego wykorzystania zaplanowanych sieci cyfrowych odbyło się w sposób niezakłócony i w zaplanowanym terminie.

W efekcie prowadzonych prac przygotowano Porozumienie Genewa'06 składające się z części zasadniczej, proceduralno-prawnej, Aneksów technicznych oraz Planu Cyfrowego zawierającego ustalone na Konferencji przydziały częstotliwości i obszary rezerwacji kanałów dla poszczególnych krajów. Dodatkowo Porozumienie obejmuje listę stacji analogowych podlegających ochronie do końca okresu przejściowego, którego koniec ustalono na 16 czerwca 2015r. Po tej dacie stacje analogowe przestaną być chronione. Ponadto podano Listę stacji innych służb, które będą chronione przed zakłóceniami ze strony cyfrowych naziemnych systemów radiodfuzyjnych.

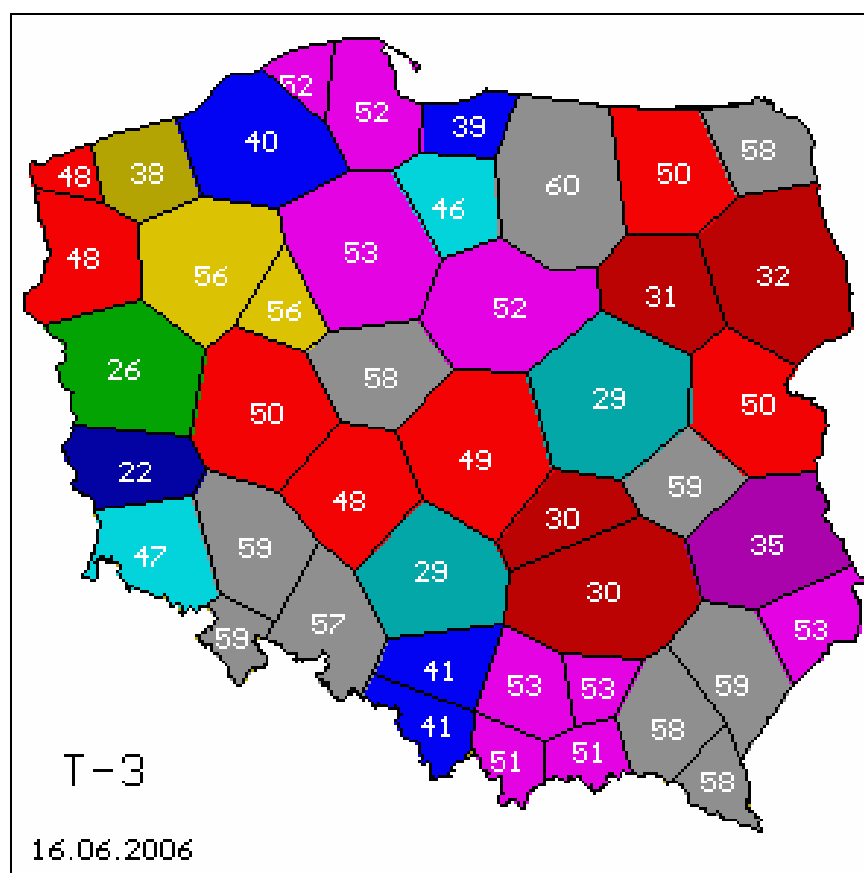
Na Rysunkach 2.1-2.8 zaprezentowano warstwy pokryć (multipleksy) DVB-T w paśmie UHF z podziałem na kanały uzyskane i wpisane do Planu GE'06 podczas Konferencji RRC'06. Na rysunkach 2.9-2.12 przedstawiono analogiczne wyniki dotyczące obszarów rezerwacji T-DAB/T-DMB.



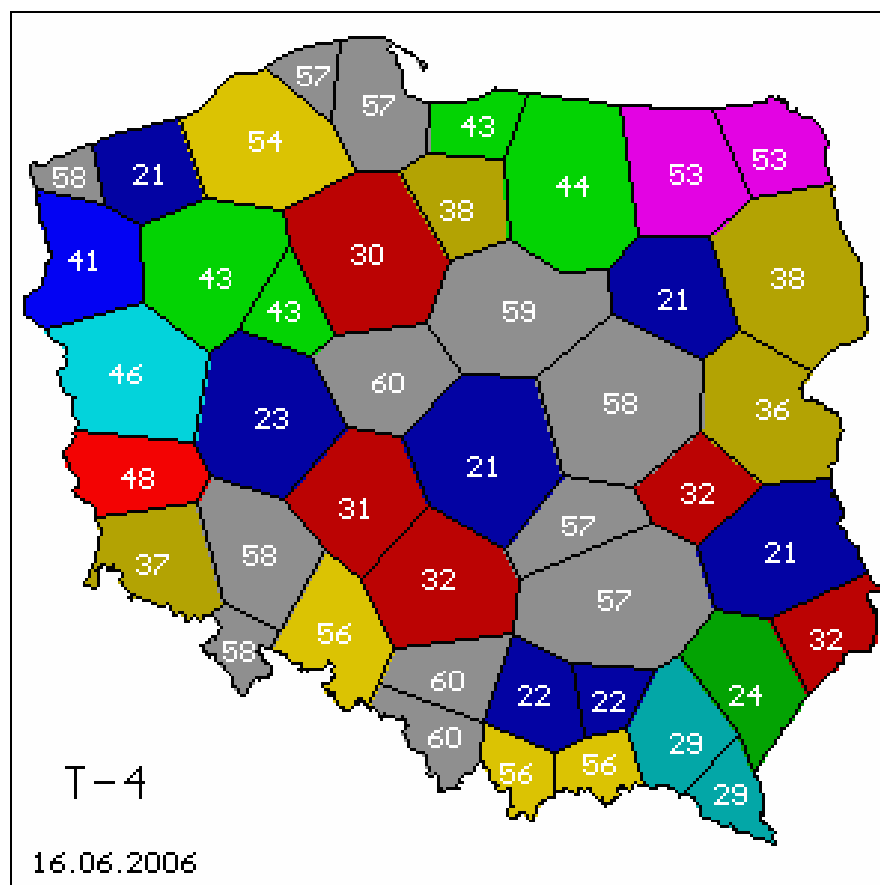
Rys. 2.1 Warstwa 1



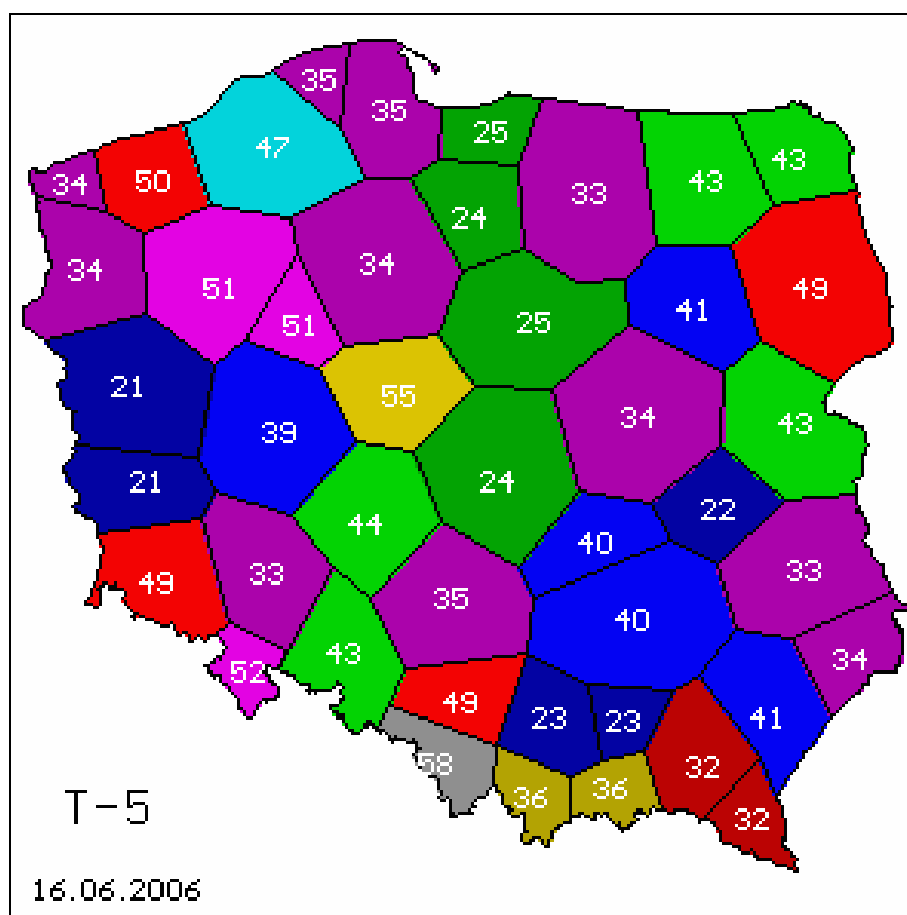
Rys. 2.2 Warstwa 2



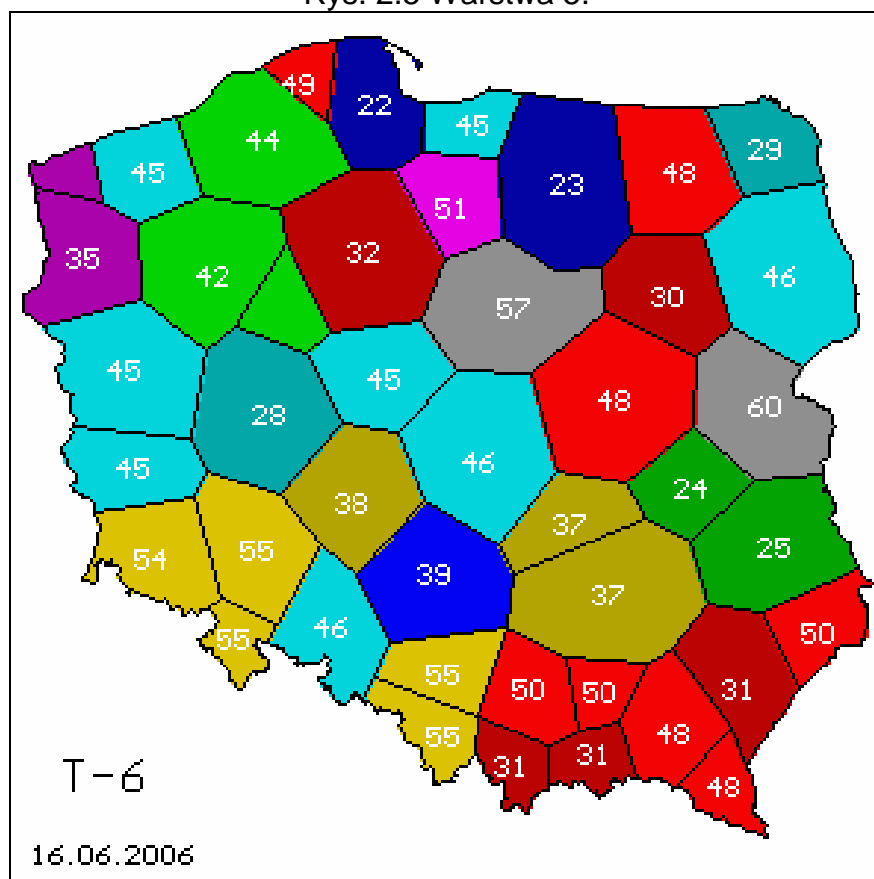
Rys. 2.3 Warstwa 3



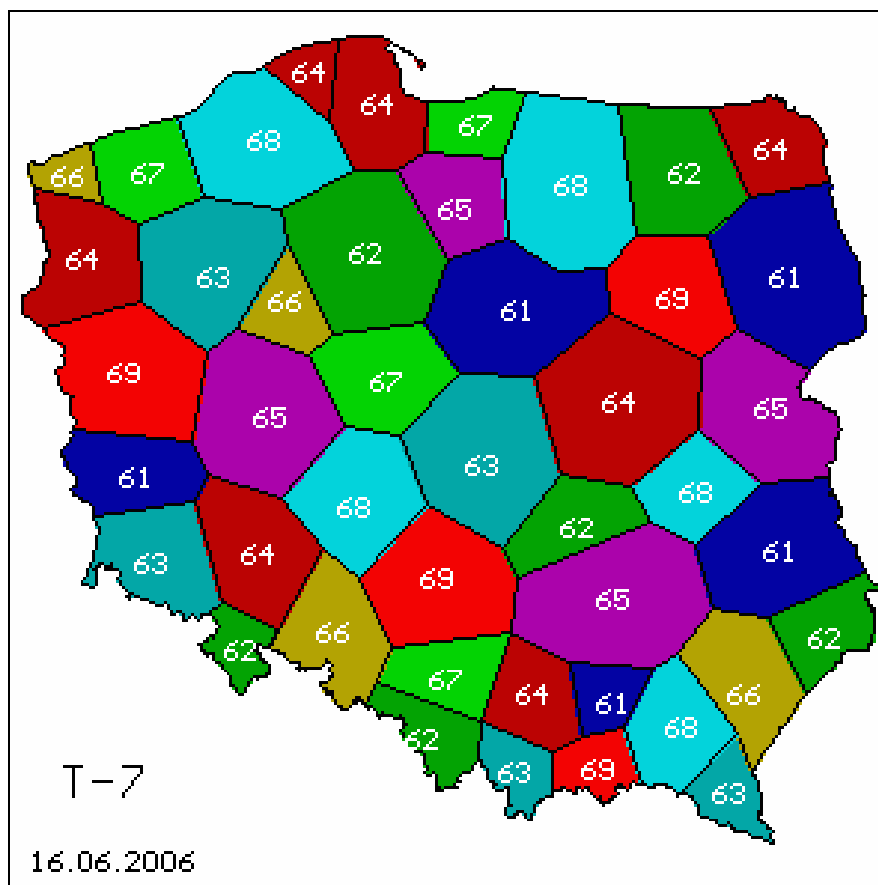
Rys. 2.4 Warstwa 4



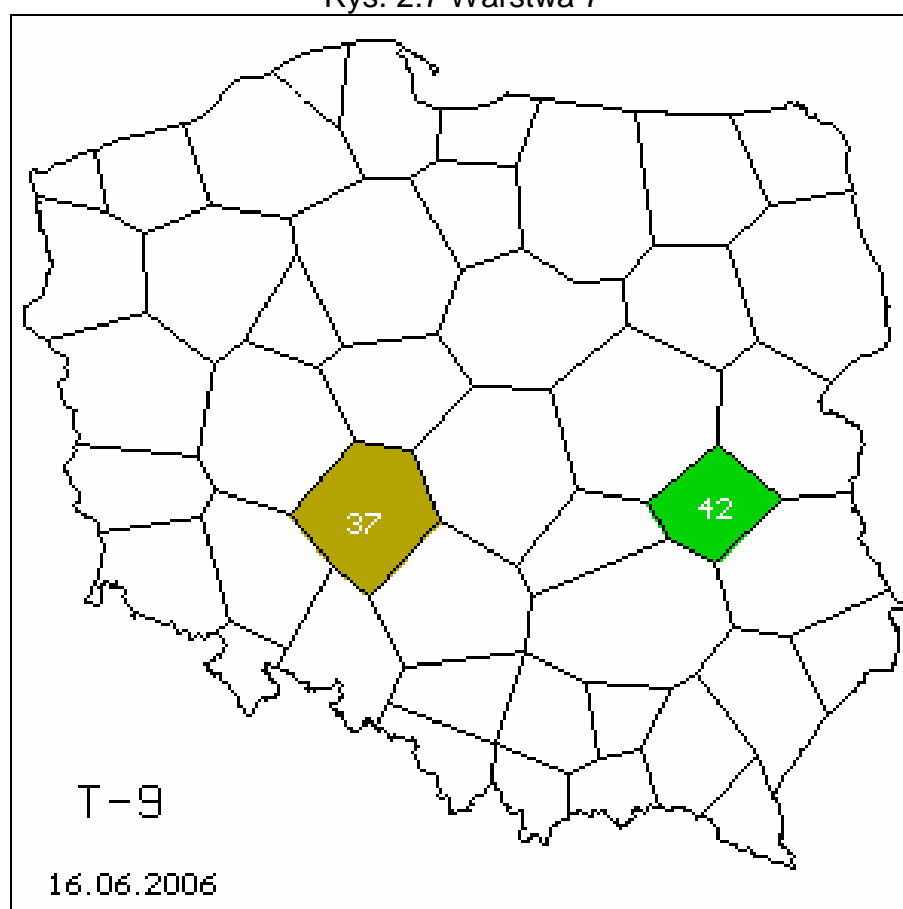
Rys. 2.5 Warstwa 5.



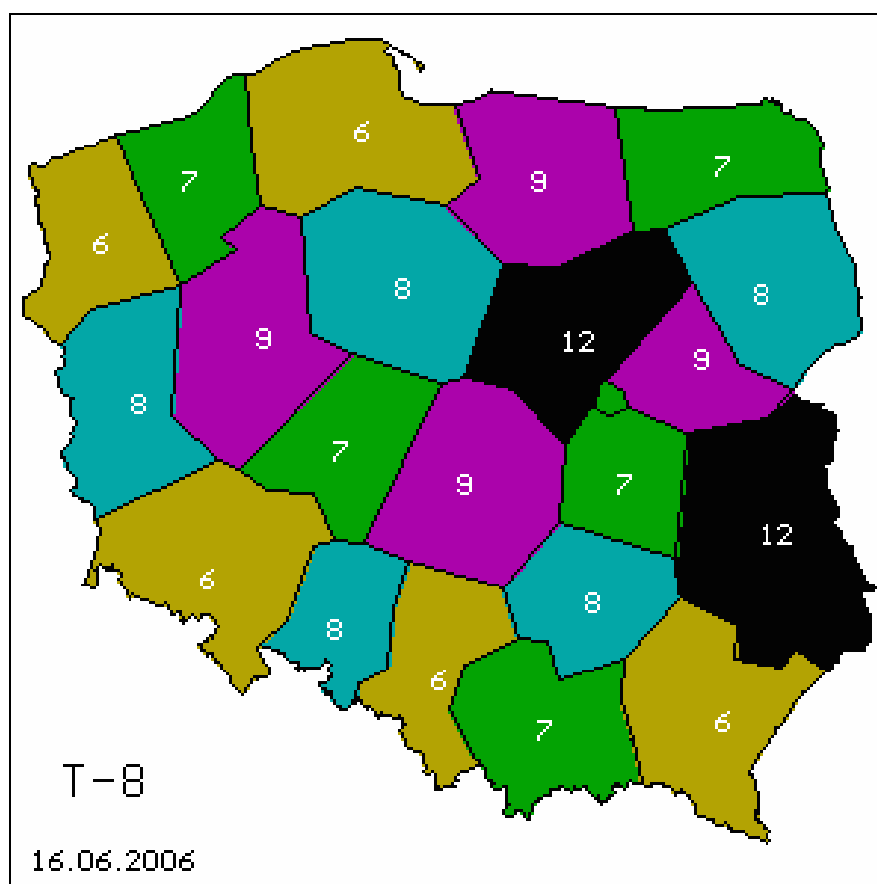
Rys. 2.6 Warstwa 6



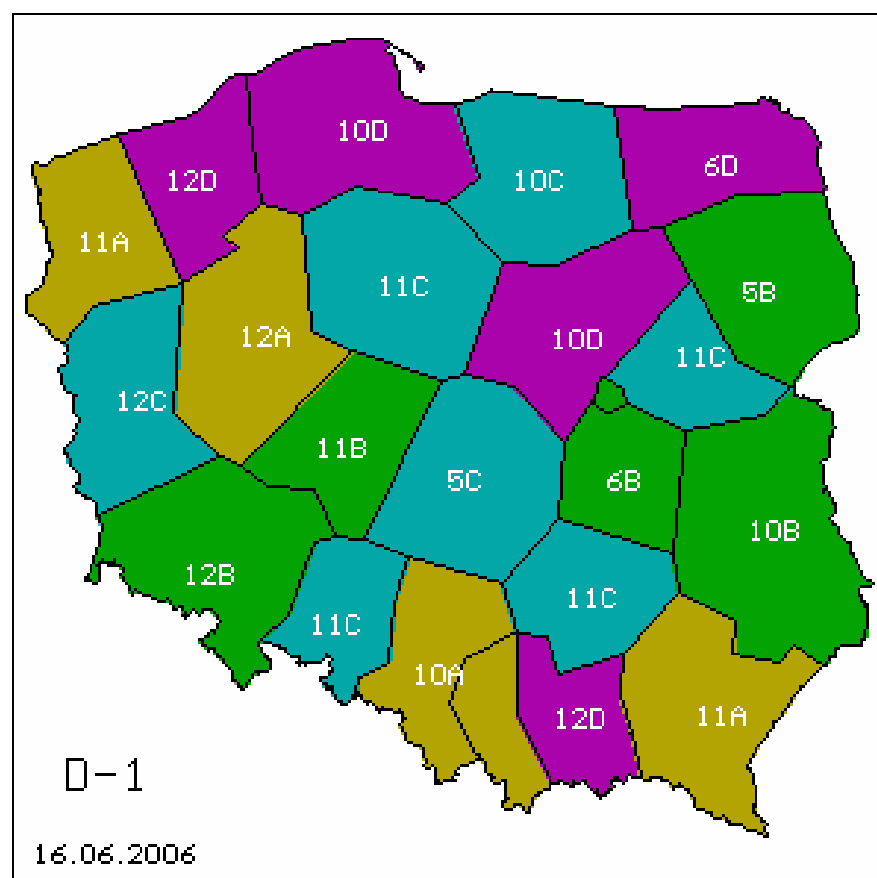
Rys. 2.7 Warstwa 7



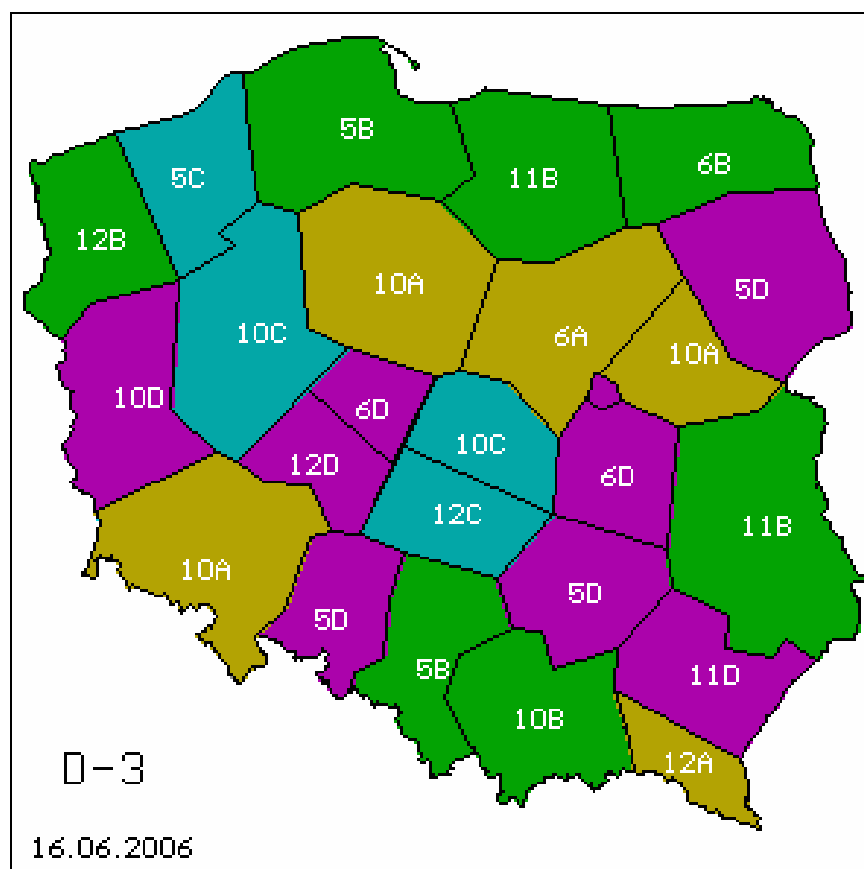
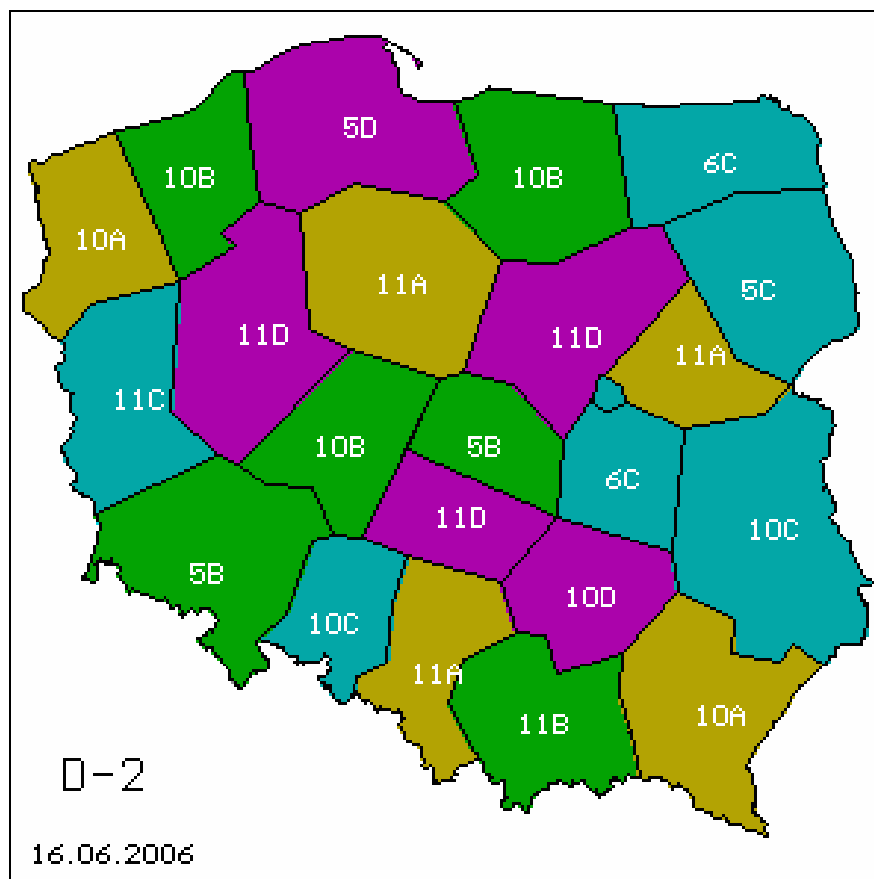
Rys. 2.8 Dodatkowe obszary (warstwa „9”)



Rys. 2.9 Warstwa 8 (VHF)



Rys. 2.10 Warstwa 1 DAB/DMB



Przygotowania Planu Cyfrowego poprzedzone były pracami międzynarodowymi mającymi na celu ustalenie podstaw i zasad planowania jak również wstępnymi projektami Planów dla grup krajów, które są uzgadniane przed Konferencją. Poprzedni plan, dla telewizji analogowej, tworzony był na bazie siatki regularnej w Sztokholmie w 1961 roku (ST'61) i z niewielkimi zmianami funkcjonuje do dziś. W celu prostszej implementacji DVB-T oraz łatwiejszego spełnienia warunków kompatybilności między DVB-T a TV analogową i innymi służbami radiowymi, zasadnicza część projektu Planu Cyfrowego opiera się na Planie ST'61. Zasada ta została wypracowana w trakcie międzynarodowych prac CEPT i ITU wskutek negocjacji przedstawicieli wszystkich krajów biorących udział w przygotowywaniu Planu Cyfrowego. Naczelną regułą była zasada równego dostępu do widma (equitable access), która w skrócie sprowadza się do uzyskania podobnych zasobów częstotliwości przez różne kraje, pozwalających na uzyskanie zbliżonej liczby pokryć całego terytorium kraju. Przyjęto, że każdy kraj powinien mieć dostęp do 6-7 pokryć ogólnokrajowych (multipleksów) pozwalających na transmisję min. 24 programów ogólnokrajowych, co w porównaniu z TV analogową oznacza kilkukrotny wzrost. Przyjęte w toku prac międzynarodowych zasady planowania sieci zostały sprowadzone do koordynacji tzw. obszarów rezerwacji (allotments), które oznaczają przydzielony danemu krajowi kanał częstotliwości w powiązaniu z obszarem definiowanym przez punkty testowe określające granice wykorzystywania tego kanału. Ponieważ uzgodniono, że punktem wyjścia będą obszary odpowiadające w Przybliżeniu pokryciom uzyskiwanym w ramach ST'61, niemal wszystkie kraje zgłosiły zapotrzebowania na Konferencję RRC'06 bazujące na obszarach rezerwacji mocno skorelowanych z obszarami pokrycia stacji analogowych. Na podstawie teorii gospodarki widmem częstotliwości radiowych wiadomym jest, iż stosowanie większych obszarów pokrycia, wykorzystujących daną częstotliwość oznacza efektywniejsze wykorzystanie widma częstotliwości radiowych. Stąd część krajów w trakcie przygotowań do Planu cyfrowego starała się stosować stosunkowo duże obszary pokrycia możliwe do realizacji wyłącznie w technice SFN. Gdyby zastosować zasadę obowiązującą wszystkich, narzucającą konieczność stosowania równie dużych obszarów rezerwacji przez wszystkie kraje można byłoby zapewnić efektywne wykorzystanie widma oraz zagwarantować spełnienie zasady równego dostępu do widma. Jednakże w przypadku wykorzystywania różnych koncepcji zagospodarowania pasma przez różne kraje, a zwłaszcza planowanie wielu allotmentów o stosunkowo niewielkich obszarach pokrycia, praktycznie uniemożliwia równoczesne spełnienie obu wymienionych wyżej

celów. W sytuacji, gdy wiele krajów zgłasza zapotrzebowania na wiele stosunkowo niewielkich obszarów rezerwacji w oparciu o przydziały ST'61, inny kraj - zgłaszający znacznie większe obszary rezerwacji uzyskałby mniejszą od sąsiadów część widma radiowego, a dodatkowo miałby ogromne trudności z uzgodnieniem swojego planu z sąsiadami, którzy bazując na przydzielach ST'61 zapewne nie zgodziliby się na skoordynowanie rozległego obszaru rezerwacji. Np. chęć wykorzystania jednego kanału TV na obszarze całego kraju w ramach ogólnokrajowej sieci SFN oznaczałaby konieczność wyłączenia tego kanału u wszystkich sąsiadów wokół w pasie ok. 100-200km od granicy kraju. Ze względu na zaburzenie międzynarodowego planu równomiernego przydzielania kanałów większość krajów sąsiednich odmówiłaby koordynacji międzynarodowej takiego kanału.

Można więc przyjąć, że na etapie przygotowywania Planu Cyfrowego możliwe byłoby zgłaszanie i próba koordynacji międzynarodowej co najwyżej regionalnych obszarów rezerwacji DVB-T. Ze względu na powszechne wykorzystywanie w Europie struktury obszarów rezerwacji bazujących na przydzielach ST'61, tego typu przydziały mogą być i są w stosunkowo prosty sposób uzgadniane międzynarodowo. Oznaczają one równomierny podział kanałów między różnymi krajami i nie powodują zaburzeń w wykorzystywaniu widma przez różne kraje, pozwalają też na zapewnienie warunków równego dostępu do widma. Należy podkreślić przy tym, że uzyskanie określonych zasobów na Konferencji RRC'06 nie oznacza, że dany kraj nie będzie mógł w przyszłości tych zasobów wykorzystywać w inny niż uzgodniony na Konferencji sposób. Jeśli np. dany kraj będzie zamierzał stosować rozległe sieci SFN może to zrobić wykorzystując przyznane na Konferencji zasoby oraz tak modyfikując ich wykorzystanie, aby nie spowodować zakłóceń do sieci innych krajów. Ponieważ obszary rezerwacji w głębi kraju nie podlegają właściwie zbyt dużym ograniczeniom międzynarodowym polityka ich wykorzystania będzie zależeć niemal wyłącznie od Administracji danego kraju. Dlatego niezwykle istotne jest, aby kraj w ramach Konferencji RRC'06 uzyskał jak największe zasoby widmowe, które następnie po Konferencji będzie mógł tak zmodyfikować, aby je w jak najlepszy i najefektywniejszy sposób wykorzystać. Wnioskowanie przez Administrację o rozległe sieci SFN na Konferencję RRC na etapie generowania Planu oznaczałoby zgłoszenie mniejszych potrzeb widmowych i w konsekwencji przyznanie mniejszych zasobów wnioskującemu krajowi, dlatego w zgłoszeniach administracji tego typu sieci praktycznie nie występują.

2.1.1. Konfiguracje planistyczne wykorzystywanie w analizach

W przypadku systemu DVB-T na Konferencji RRC'04 [9] zaproponowano różne warianty sieci i ich konfiguracje. Podstawowe cechy poszczególnych Konfiguracji Planistycznych, które wykorzystywane są do analiz wzajemnych zakłóceń i generowania Planu cyfrowego dla DVB-T podczas Konferencji RRC04-06 zostały przedstawione szczegółowo w Sprawozdaniu z pracy statutowej za 2004 rok [16]. Poniżej przedstawiono główne cechy sieci odniesienia przyjętej jako referencyjna dla terytorium Polski i krajów sąsiednich. Ze względu na symetryczność sytuacji korzystne było stosowanie tego samego wariantu do obliczeń dla wszystkich krajów regionu. Sieć referencyjna pozwalała na wykonywanie obliczeń kompatybilności w sytuacji braku zaplanowanych konkretnych nadajników. W naszym regionie jako referencyjny typ odbioru przyjęto tryb RPC2 oraz konfigurację odniesienia sieci w postaci RN1 – dla sieci typu wielkoobszarowego. Podstawowe parametry konfiguracyjne tego typu sieci zaprezentowano w Tabelach. Na Rysunkach pokazano schemat sieci i metodę wyznaczania zakłóceń.

RPC	RPC 1	RPC 2	RPC 3
Referencyjne prawdopodobieństwo lokalizacji	95%	95%	95%
C/N odniesienia (dB)	21	19	17
Referencyjne $(E_{med})_{ref}$ (dB(μ V/m)) dla $f_r = 200$ MHz	50	67	76
Referencyjne $(E_{med})_{ref}$ (dB(μ V/m)) dla $f_r = 650$ MHz	56	78	88

$(E_{med})_{ref}$: Wartość odniesienia dla minimalnej mediany natężenia pola

RPC 1: RPC dla odbioru stacjonarnego

RPC 2: RPC dla odbioru przenośnego zewnętrznego lub odbioru przenośnego wewnątrz budynku przy zasięgu niskiej jakości lub dla odbioru ruchomego

RPC 3: RPC dla odbioru przenośnego wewnątrz budynku przy zasięgu wysokiej jakości

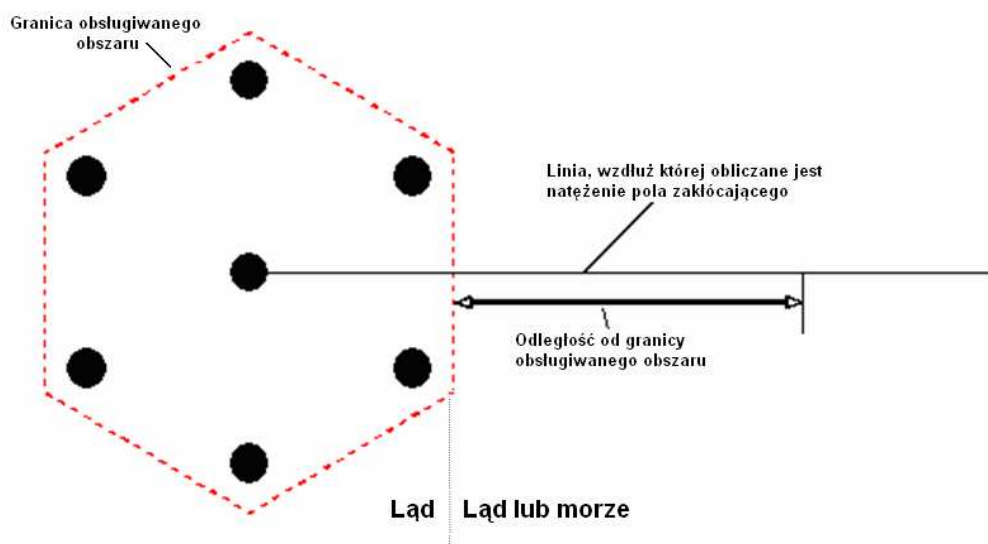
Dla innych częstotliwości wartości natężenia pola odniesienia z należy dostosować dodając współczynnik korygujący określony według następującego wzoru:

- $(E_{med})_{ref}(f) = (E_{med})_{ref}(f_r) + \text{Corr}$;
- dla odbioru stacjonarnego, $\text{Corr} = 20 \log_{10} (f/f_r)$, gdzie f to częstotliwość rzeczywista a f_r to częstotliwość referencyjna stosownego pasma podana w tabeli A.3.5-1;

– dla odbioru przenośnego i odbioru ruchomego, $\text{Corr} = 30 \log_{10} (f/f_r)$, gdzie f to częstotliwość rzeczywista a f_r to częstotliwość referencyjna stosownego pasma podana w Tabeli.

Tabela 2.1 Parametry sieci RN 1 (sieć SFN wielkoobszarowa)

Planistyczna konfiguracja odniesienia RN1		RPC 2 Odbiór przenośny zewnętrzny, ruchomy
Typ sieci		Otwarta
Geometria obsługiwanego obszaru		Hexagon
Liczba nadajników		7
Geometryczny układ nadajników		Hexagon
Odległość d pomiędzy nadajnikami [km]		50
Rozmiar D obsługiwanego obszaru [km]		115
Wysokości zawieszenia anten nadawczych [m]		150
Charakterystyki promieniowania anten nadawczych		Dookólne
ERP [dBW]	Pasmo III	36,2
	Pasmo IV/V	49,7



Rys. 2.13 Przyjęta dla obliczenia potencjalnych zakłóceń geometria sieci RN 1

Struktura dla sieci RN1 jest typu „otwartego” – tzn. nadajniki sieci mają charakterystyki dookolne. Występują ponadto inne konfiguracje sieci przeznaczone głównie do sieci zapewniających poprawny odbiór przenośny czy przewoźny lub też do stosowania na małym obszarze. Wszystkie sieci odniesienia zdefiniowane są dla trzech różnych trybów odbioru: RPC1, RPC2, RPC3: stacjonarnego, przenośnego zewnętrznego i przenośnego wewnętrznego. Dla każdego z rodzajów odbioru występują inne parametry stacji (Tabela 2.1).

2.1.2. Procedura sprawdzania zgodności z Planem GE'06

Na Konferencji RRC'06 ustalono procedurę sprawdzania przydziałów częstotliwości pod kątem ich zgodności z Planem. Plan GE'06 zawiera wpisy do planu w postaci przydziałów częstotliwości oraz obszarów rezerwacji (allotments) definiowanych jako obszar geograficzny wykorzystywania danej częstotliwości. Na takim obszarze możliwe jest uruchomienie dowolnej liczby stacji w danym kanale GE'06 pracujących w ramach sieci SFN, jednakże stacje te muszą spełnić wymagania zgodności z Planem i przejść procedurę sprawdzania zgodności. Celem tej procedury jest sprawdzenie czy implementacja rzeczywistej sieci w postaci proponowanych nadajników nie generuje zakłóceń przekraczających zakłócenia generowane przez referencyjną sieć odniesienia zgłoszoną przez daną Administrację na Konferencję RRC'06 lub sprawdzenie czy dany przydział częstotliwości jest zgodny z przydziałem wpisanym do Planu.

Metoda badania zgodności obejmuje:

- a) weryfikację potwierdzającą, że kanał lub blok wdrożenia wpisu z Planu cyfrowego jest taki sam jak powiązany wpis w Planie cyfrowym a położenie geograficzne wdrożenia wpisu z Planu cyfrowego ma miejsce w oznaczonych granicach; oraz
- b) porównanie obwiedni zakłóceń interferencyjnych wynikającej z wpisu w Planie cyfrowym z zagregowanym zakłóceniem wynikającym z wdrożenia wpisu z Planu cyfrowego. Obszar, w obrębie którego wykonywane jest to porównanie otacza graniczny kontur natężenia pola, na którym wykonywane jest ostateczne porównanie całościowych natężeń pola powodujących zakłócenia.

Wdrożenie wpisu z Planu cyfrowego pozostaje w zgodności z Planem, jeżeli potwierdzona zostanie weryfikacja Biura na mocy a) oraz gdy na mocy b) interferencja wdrożenia wpisu z Planu cyfrowego nie przekracza obwiedni zakłóceń interferencyjnych uzyskanej na podstawie charakterystyki wpisu w Planie cyfrowym dla każdego właściwego punktu obliczeniowego.

Graniczny kontur natężenia mocy zapewnia mechanizm, który skaluje liczbę punktów obliczeniowych w badaniu zgodności do wartości skutecznej mocy promieniowanej oraz wartości natężenia pola będących przyczynkiem do koordynacji. Kryterium graniczności to stosowna wartość natężenia pola skutkującego koniecznością koordynacji (Tabela 2.2)

Tabela 2.2

Wartości natężenia pola skutkujące koniecznością koordynacji w celu ochrony innych systemów służby radiodifuzyjnej

System nadawczy modyfikujący Plan	Natężenie pola skutkujące koniecznością koordynacji (dB(μV/m))			
	Pasmo III (174-230 MHz)	Pasmo IV (470-582 MHz)	Pasmo V (582-718 MHz)	Pasmo V (718-862 MHz)
DVB-T	17	21	23	25
T-DAB	12	–	–	–
TV analogowa	10	18	20	22

W przypadku, gdy proponowane przydziały częstotliwości znajdują się w paśmie częstotliwości, w którym nie ma żadnego przydziału innej służby pierwszej ważności w promieniu 1000 km zarejestrowanego w Wykazie, a kontur graniczny natężenia pola oparty na transmisyjnych natężeniach pola skutkujące koniecznością koordynacji nie wykracza poza granicę państwową administracji zgłaszającej, badanie zgodności ma wynik pozytywny.

W przypadku, gdy proponowane przydziały częstotliwości znajdują się w paśmie częstotliwości, w którym są przydziały częstotliwości innej służby pierwszej ważności w promieniu 1000 km zarejestrowane w Wykazie, a kontur graniczny natężenia pola oparty na transmisyjnych natężeniach pola skutkujące koniecznością koordynacji nie wykracza poza granicę państwową administracji zgłaszającej, graniczny kontur natężenia pola jest ponownie kreślony przy użyciu odpowiednich natężeń pola o

wartości skutkującej koniecznością koordynacji dla przydziałów częstotliwości innych służb pierwszej ważności podlegających ochronie na szeregu azymutów odpowiadających kierunkowi obszaru usługi objętego ewentualnym oddziaływaniem, ograniczonego do terytorium państwa administracji, której inne służby pierwszej ważności mogą być objęte oddziaływaniem. Jeżeli graniczne kontury natężenia pola uzyskane w wyniku tego procesu nadal nie wykraczają poza granicę państwową administracji zgłaszającej, badanie zgodności ma wynik pozytywny.

Jeżeli graniczne kontury natężenia pola wykraczają poza granice terytorium administracji zgłaszającej w dowolnej lokalizacji, tworzona jest seria konturów geometrycznych. Kontury te tworzone są w celu weryfikacji, czy na każdym z ich punktów zagregowane natężenie pola powodujące zakłócenia z proponowanego przekształcenia wpisu cyfrowego w Planie oraz z przydziałów częstotliwości w MIFR (w tym powiązanych przydziałów) które są powiązane z wpisem cyfrowym w Planie, o ile ma to zastosowanie, nie przekracza obwiedni zakłóceń interferencyjnych wpisu cyfrowego w Planie.

Na tych konturach punkty obliczeniowe rozmieszczone są co 1° wzdłuż konturów geometrycznych otaczających obszar rezerwacji częstotliwości lub przydział(y) częstotliwości. Nie wszystkie punkty są rozpatrywane: wykorzystywane są jedynie te punkty obliczeniowe leżące poza terytorium administracji zgłaszającej oraz wewnątrz granicznego konturu/ów natężenia pola wokół obszaru rezerwacji częstotliwości lub przydziału(ów)

Implementacja wpisu z Planu cyfrowego jest właściwa, jeżeli na każdym punkcie obliczeniowym zakłócenie od *implementacji wpisu z Planu cyfrowego* nie przekracza obwiedni zakłóceń interferencyjnych określonej na podstawie charakterystyki wpisu w Planie cyfrowym.

Obliczenia natężenia pola oparte są na modelu propagacji opisanym w rozdziale 2 Aneksu 2 do Porozumienia GE'06 (należy zastosować krzywe propagacji dla przypadku troposferycznego, tj. 1% czasu oraz 50% lokalizacji). Obliczanie zakłóceń z dowolnego nadajnika ogranicza się do odległości 1000 km. Wyliczone wartości są zaokrąglane od jednego miejsca po przecinku.

W przypadku, gdy natężenia pola z szeregu źródeł sygnału muszą zostać zagregowane, stosowana jest metoda sumowania mocy. Poszczególne natężenia pola uzyskane na punktach obliczeniowych ze wszystkich stacji nadawczych obszaru

rezerwacji częstotliwości są przetwarzane w kolejności malejącej. Sumę mocy uzyskuje się w następujący sposób:

- począwszy od najwyższej, wartości mocy równoważne natężeniom pola powodującym zakłócenia są dodawane jedna po drugiej;
- po każdym zsumowaniu wynik jest porównywany z poprzednim;
- jeżeli wzrost mocy jest większy lub równy 0,5 dB, proces sumowania jest kontynuowany;
- jeżeli wzrost mocy jest mniejszy niż 0,5 dB, proces sumowania ulega zakończeniu i dodaje się 0,5 dB, uzyskując wynik sumy mocy.

Kontury geometryczne wykreślone są na odległościach 60, 100, 200, 300, 500, 750 oraz 1 000 od lokalizacji stacji lub granicy wpisu w Planie cyfrowym.

Konstruowanie konturów geometrycznych uzależnione jest od rodzaju wpisu w Planie cyfrowym,

Dla każdego rodzaju wpisu w Planie cyfrowym określany jest punkt odniesienia. Od tego punktu odniesienia kreślone jest 360 promieni w odstępach co 1° począwszy od północy rzeczywistej. Punkt, w którym promień przecina graniczny kontur natężenia pola oraz jakiegokolwiek kontur geometryczny leżący poza granicą państwową administracji zgłaszającej stanowi lokalizację punktów obliczeniowych.

Plan zbudowany jest z dwóch fundamentalnych obiektów planistycznych, a mianowicie przydziałów częstotliwości oraz obszarów rezerwacji częstotliwości. Zarówno przydziały częstotliwości jak i obszary rezerwacji częstotliwości cechuje ogólny zestaw parametrów technicznych wymienionych w Aneksie 1 do Porozumienia GE'06. Przedmiotowe dwa obiekty można łączyć w pięć różnych rodzajów wpisów, jakie mogą być zarejestrowane w Planie. Cechy każdego z pięciu różnych rodzajów wpisów do Planu cyfrowego mają wpływ na metodę badania zgodności.

2.1.2.1 Wpis w Planie cyfrowym obejmujący włącznie obszar rezerwacji częstotliwości

Niniejszy wpis w Planie cyfrowym cechuje granica obszaru, przydzielona częstotliwość, typ sieci odniesienia (RN) oraz planistyczny układ odniesienia (RPC).

Implementacje przydziałów częstotliwości muszą być zlokalizowane w obrębie obszaru rezerwacji częstotliwości bądź nie dalej niż 20 km poza granicą obszaru rezerwacji częstotliwości. Lokalizacje te powinny znajdować się na terytorium administracji zgłaszającej.

Punktem odniesienia dla wpisu w Planie będącego obszarem rezerwacji częstotliwości jest środek ciężkości wielokąta obszaru rezerwacji

Jako źródło przy obliczaniu obwiedni zakłóceń interferencyjnych wykorzystywane są parametry sieci odniesienia powiązanej z obszarem rezerwacji częstotliwości. Sieć odniesienia zlokalizowana na każdym punkcie granicznym obszaru rezerwacji częstotliwości działa jak źródło zakłóceń. Umieszczenie sieci odniesienia opisano dalej. Za stosowaną wartość natężenia pola powodującą zakłócenia przyjmuje się największe uzyskane natężenie pola dla danego rozpatrywanego punktu obliczeniowego z każdego punktu granicznego obszaru rezerwacji częstotliwości.

a) Zastosowanie Artykułu 4 GE'06

W przypadku przekształcania wpisu w Planie będącego obszarem rezerwacji częstotliwości na przydział częstotliwości, gdy planowane jest uwzględnienie tego przydziału częstotliwości w Planie, zagregowane zakłócenie obliczane jest przy użyciu metody sumy mocy zakłóceń składowych pochodzących z:

- przydziałów już uwzględnionych w Planie w wyniku przekształcenia obszaru rezerwacji częstotliwości; oraz
- nowego przydziału/ów wynikającego z przekształcenia obszaru rezerwacji częstotliwości i przedłożonego do uwzględnienia w Planie w trybie Artykułu 4.

b) Zastosowanie Artykułu 5 GE'06

W przypadku przekształcania wpisu w Planie będącego obszarem rezerwacji częstotliwości na przydział częstotliwości, gdy planowana jest rejestracja tego przydziału częstotliwości w MIFR, zagregowane zakłócenie obliczane jest przy użyciu metody sumy mocy zakłóceń pochodzących z:

- przydziałów już zarejestrowanych w MIFR w wyniku przekształcenia obszaru rezerwacji częstotliwości; oraz
- nowego przydziału/ów wynikającego z przekształcenia obszaru rezerwacji częstotliwości i przedłożonego do rejestracji w MIFR w trybie Artykułu 5.

Punktem odniesienia dla skonstruowania granicznego konturu natężenia pola jest środek ciężkości wielokąta obszaru rezerwacji częstotliwości, a metodę konstruowania konturu opisano dalej.

2.1.2.2. Wpis w Planie cyfrowym obejmujący tylko jeden przydział częstotliwości

Wpis w Planie cyfrowym obejmuje pojedynczy przydział częstotliwości. Cechuje go wymagany zestaw parametrów technicznych opisanych w Aneksie 1 Porozumienia GE'06. Niektóre z parametrów technicznych można opisać w kategoriach RPC.

W przypadku, gdy parametry *implementacji wpisu z Planu cyfrowego* są identyczne jak parametry wpisu w Planie cyfrowym, przydział częstotliwości automatycznie uznaje się za pozostający w zgodności z wpisem w Planie cyfrowym, dlatego też wykonanie badania zgodności nie jest konieczne.

Lokalizacja anteny nadawczej nie może przekraczać odległości 20 km od położenia geograficznego określonego w odpowiednim wpisie w Planie cyfrowym. Lokalizacja ta powinny znajdować się na terytorium administracji zgłaszającej.

Punktem odniesienia jest położenie geograficzne anteny nadawczej zgodnie z zapisem w Planie, a kontury geometryczne składają się z koncentrycznych okręgów rozchodzących się z tego punktu.

Charakterystyka przydziału częstotliwości, zgodnie z wykazem w Planie, wykorzystywana jest do obliczania obwiedni zakłóceń interferencyjnych wpisu w Planie cyfrowym.

Przy stosowaniu Artykułu 5, natężenie pola powodujące zakłócenia z *wdrożenia wpisu w Planie cyfrowym* jest zakłóceniem wytwarzanym przez zgłoszony przydział.

Punktem odniesienia dla skonstruowania granicznego konturu natężenia pola jest położenie geograficzne anteny nadawczej zgodnie z zapisem w Planie, a metodę konstruowania konturu opisano dalej.

2.1.2.3. Wpis w Planie cyfrowym obejmujący obszar rezerwacji częstotliwości wraz z powiązanymi przydziałami częstotliwości

Wpis w Planie cyfrowym obejmuje dany obszar rezerwacji częstotliwości oraz zestaw powiązanych przydziałów częstotliwości. Obszar rezerwacji częstotliwości cechuje granica obszaru, przydzielona częstotliwość, typ RN oraz albo RPC albo wariant systemu wraz z trybem odbioru. Każdy z powiązanych przydziałów częstotliwości cechuje wymagany zestaw parametrów technicznych opisanych w Aneksie 1 Porozumienia GE'06, a powiązanie pomiędzy obszarem rezerwacji częstotliwości a przydziałem częstotliwości ustala się przez przydziały posiadające taki sam obszar rezerwacji częstotliwości oraz identyfikator SFN jako obszar rezerwacji częstotliwości.

Przydziały częstotliwości przekształcone z obszaru rezerwacji częstotliwości muszą być zlokalizowane w obrębie obszaru rezerwacji częstotliwości bądź nie dalej niż 20 km poza granicą obszaru rezerwacji częstotliwości. Lokalizacja anteny nadawczej dla powiązanego przydziału częstotliwości nie może przekraczać odległości 20 km od położenia geograficznego określonego we wpisie w Planie cyfrowym dla stosownego przydziału częstotliwości.

Lokalizacje te powinny znajdować się na terytorium administracji zgłaszającej.

Punktem odniesienia jest środek ciężkości wielokąta obszaru rezerwacji częstotliwości, a konstruowanie konturu geometrycznego opisano dalej.

Obwiednia zakłóceń interferencyjnych wpisu w Planie cyfrowym będącym obszarem rezerwacji częstotliwości z powiązanymi przydziałami częstotliwości obliczana jest dla każdego odrębnego punktu obliczeniowego jako wyższa wartość z dwóch poniższych:

- metody sumy mocy zakłóceń z powiązanych cyfrowych przydziałów częstotliwości; lub

- zakłóceń z sieci odniesienia powiązanej z obszarem rezerwacji częstotliwości

Z uwagi na fakt, że obszar rezerwacji częstotliwości ma być w zasadniczym zamierzeniu przekształcony na przydziały częstotliwości, które będą miały wpływ na dostępny potencjał zakłóceń wpisu w Planie cyfrowym, badanie zgodności należy

przeprowadzić również w przypadku, gdy parametry zgłoszonego powiązanego przydziału/ów są identyczne jak parametry odpowiedniego wpisu w Planie cyfrowym.

a) Zastosowanie Artykułu 4 GE'06

Natężenie pola powodujące zakłócenia obliczane jest przy użyciu metody sumy mocy zakłóceń składowych pochodzących z:

- przydziałów częstotliwości już uwzględnionych w Planie w wyniku przekształcenia elementu obszaru rezerwacji częstotliwości we wpisie w Planie cyfrowym (tj. z wyłączeniem powiązanych przydziałów częstotliwości); oraz
- nowego przydziału/ów wynikającego z przekształcenia elementu obszaru rezerwacji częstotliwości we wpisie w Planie cyfrowym i przedłożonego do uwzględnienia w Planie w trybie Artykułu 4.

b) Zastosowanie Artykułu 5 GE'06

Zagregowane zakłócenie obliczane jest przy użyciu metody sumy mocy zakłóceń składowych pochodzących z:

- przydziałów już zarejestrowanych w MIFR w wyniku przekształcenia elementu obszaru rezerwacji częstotliwości; oraz
- powiązanych przydziałów częstotliwości odpowiadających wpisowi w Planie cyfrowym, które zostały już zarejestrowane w MIFR w trybie Artykułu 5; oraz
- nowego przydziału/ów częstotliwości wynikającego z przekształcenia elementu obszaru rezerwacji częstotliwości we wpisie w Planie cyfrowym i przedłożonego do rejestracji w MIFR w trybie Artykułu 5; oraz
- powiązanych przydziałów częstotliwości odpowiadających wpisowi w Planie cyfrowym i przedłożonych do rejestracji w MIFR w trybie Artykułu 5.

Punktem odniesienia dla jest środek ciężkości wielokąta obszaru rezerwacji częstotliwości, a metodę konstruowania granicznego konturu natężenia pola opisano dalej.

2.1.2.4. Wpis w Planie cyfrowym obejmujący zestaw przydziałów częstotliwości o wspólnym identyfikatorze SFN

Wpis w Planie cyfrowym obejmuje zestaw przydziałów częstotliwości o wspólnym identyfikatorze SFN, przy czym z danym zestawem nie jest powiązany obszar rezerwacji częstotliwości. Każdy przydział cechują parametry techniczne opisane w Aneksie 1 Porozumienia GE'06.

Liczba przydziałów częstotliwości wdrażających wpis z Planu cyfrowego nie może przekroczyć liczby przydziałów częstotliwości w zestawie obejmującym wpis w Planie cyfrowym,

W przypadku, gdy parametry wszystkich zgłoszonych przydziałów są identyczne jak parametry odpowiadających im przydziałów częstotliwości we wpisie w Planie cyfrowym, wykonanie badania zgodności nie jest konieczne.

Jednak jeżeli którykolwiek z przydziałów częstotliwości zostanie zgłoszony z parametrami innymi niż parametry odpowiadającego mu przydziału częstotliwości we wpisie w Planie cyfrowym, wówczas należy przeprowadzić badanie zgodności w odniesieniu do wszystkich przydziałów częstotliwości wdrażających wpis z Planu cyfrowego.

Lokalizacja zgłoszonego przydziału częstotliwości nie może przekraczać odległości 20 km od odpowiedniego położenia geograficznego określonego we wpisie w Planie cyfrowym.

Punktem odniesienia wpisu w Planie cyfrowym jest środek ciężkości współrzędnych geograficznych wszystkich lokalizacji poszczególnych anten nadawczych.

Dla każdego przydziału częstotliwości we wpisie w Planie cyfrowym konstruowana jest seria koncentrycznych okręgów. Okręgi przecinające się na tej samej odległości są następnie łączone, aby dać jeden lub szereg konturów otaczających lokalizację przydziałów częstotliwości SFN na odpowiednich odległościach.

Charakterystyka każdego z przydziałów częstotliwości, zgodnie z listą w Planie, wykorzystywana jest do obliczania zagregowanej obwiedni zakłóceń interferencyjnych przy użyciu zmodyfikowanej metody sumy mocy.

W tym przypadku, weryfikacja zgodności jest prowadzona tylko w ramach Artykułu 5. Natężenie pola powodujące zakłócenia od *implementacji wpisu z Planu cyfrowego* to zagregowane natężenie pola powodujące zakłócenia wytwarzane przez:

- wszystkie przydziały częstotliwości odpowiadające wpisowi w Planie cyfrowym, które zostały już zarejestrowane w MIFR, z uwzględnieniem tych zarejestrowanych w trybie Artykułu 5; oraz
- wszystkie przydziały częstotliwości odpowiadające wpisowi w Planie cyfrowym i przedłożone do rejestracji w MIFR w trybie Artykułu 5.

Punktem odniesienia dla skonstruowania granicznego konturu natężenia pola jest środek ciężkości współrzędnych geograficznych wszystkich lokalizacji poszczególnych anten nadawczych, a metodę konstruowania granicznego konturu natężenia pola opisano dalej.

2.1.2.5. Wpis w Planie cyfrowym obejmujący przydział częstotliwości powiązany z obszarem rezerwacji częstotliwości bez identyfikatora SFN

Wpis w Planie cyfrowym obejmuje obszar rezerwacji częstotliwości z jednym powiązaniem przydziałem częstotliwości ale bez identyfikatora SFN. W takim przypadku jedynym źródłem zakłóceń jest przydział częstotliwości, a granica obszaru rezerwacji częstotliwości jedynie określa obszar podlegający ochronie w planowaniu w trakcie RRC-06. Dla tego obszaru podany jest albo RPC albo wariant systemu wraz z trybem odbioru. Dany przydział cechuje wymagany zestaw parametrów technicznych opisanych w Aneksie 1 Porozumienia GE'06.

Nie jest możliwe przekształcenie obszaru rezerwacji częstotliwości na przydział(y) częstotliwości, chyba że dany rodzaj wpisu w Planie cyfrowym zostanie zamieniony na innego rodzaju wpis w Planie cyfrowym. Przekształcenie na przydział(y) częstotliwości wymagałoby, aby obszar rezerwacji częstotliwości posiadał identyfikator SFN, tj. wpis w Planie cyfrowym będący przydziałem częstotliwości powiązany z obszarem rezerwacji częstotliwości bez identyfikatora SFN trzeba by zamienić na wpis w Planie cyfrowym będący obszarem rezerwacji częstotliwości.

W przypadku, gdy parametry *implementacji wpisu z Planu cyfrowego* są identyczne jak parametry wpisu w Planie cyfrowym, przydział częstotliwości automatycznie

uznaje się za pozostający w zgodności z wpisem w Planie cyfrowym, dlatego też wykonanie badania zgodności nie jest konieczne.

2.1.2.6. Konstruowanie konturu geometrycznego dla wpisów w Planie cyfrowym będących obszarami rezerwacji częstotliwości wraz z powiązanymi wpisami w Planie cyfrowym będącymi przydziałami częstotliwości

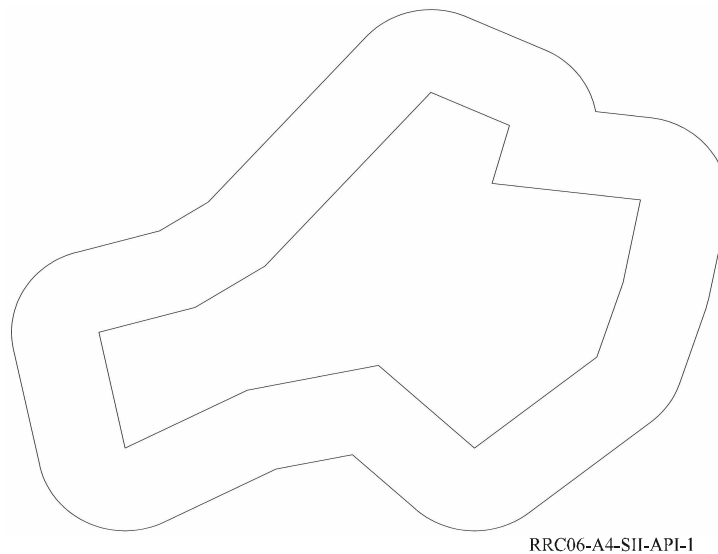
Metoda konstruowania zestawu konturów geometrycznych dla danego obszaru zamkniętego wymaga określenia obszaru jako zestawu punktów granicznych, tj. wielokąta.

Pierwszym krokiem przy konstruowaniu konturu geometrycznego jest sortowanie punktów granicznych w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Podwojone punkty graniczne, tj. punkty graniczne połączone krawędziami o długości zero są eliminowane. Jeżeli dwie sąsiadujące krawędzie mają ten sam kierunek, punkt wspólny jest pomijany.

W kolejnym kroku tworzone są nowe krawędzie, które od rozpatrywanego wielokąta oddziela odległość podana w § 3.2 Aneksu 4 Części II GE'06. Te nowe „krawędzie” to linie równoległe oraz łuki tam, gdzie trafiają się wypukłe punkty graniczne. W takim przypadku oryginalne punkty graniczne stają się środkami łuków.

Uzyskane linie i łuki są łączone ze sobą poprzez obliczenie punktów przecięcia dwóch kolejnych linii lub łuków. Punkty przecięcia stanowią część zestawu wierzchołków określających kontury geometryczne. Wzdłuż pozostałych łuków należy zlokalizować dodatkowe punkty w celu odpowiedniego przybliżenia łuku przez wielokąt. Rysunek 2.14 przedstawia uzyskany wynik.

Rys. 2.14
Kontur geometryczny dla obszaru rezerwacji częstotliwości



Stosując tę procedurę, można opracować kontury geometryczne dla obszaru rezerwacji częstotliwości o dowolnym kształcie, z uwzględnieniem tych wykazujących znaczące wcięcia. Wcięcia lub odcinki wklęsłe wielokąta zostaną załączone tak, aby z dowolnego punktu na granicy obszaru rezerwacji częstotliwości odległość do konturu była równa jednej z wymaganych odległości podanych w § 3.2 Aneksu 4 GE'06.

Powyższa procedura pozwala na identyfikację punktów granicznych konturu geometrycznego.

2.1.2.7. Umieszczenie i orientacja sieci odniesienia dla obliczania obwiedni zakłóceń interferencyjnych wpisów w Planie cyfrowym obejmujących obszar rezerwacji częstotliwości lub obszar rezerwacji częstotliwości wraz z powiązanymi przydziałami częstotliwości

Przy obliczaniu zakłóceń wychodzących danej sieci odniesienia, każdy graniczny punkt testowy obszaru rezerwacji częstotliwości jest uznawany za źródło ewentualnych zakłóceń wychodzących. Do wykonania tych obliczeń konieczna jest znajomość umiejscowienia i orientacji sieci odniesienia w odniesieniu do punktu granicznego.

Wszystkie sieci odniesienia można opisać jako sześciokąty. Jedna krawędź („krawędź początkowa”) sześciokąta jest ustawiona prostopadłe do linii pomiędzy

punktem granicznym a punktem obliczeniowym. Środek krawędzi początkowej jest następnie ustawiany na punkcie granicznym.

W takim umiejscowieniu pozostałe punkty graniczne oraz środek sześciokąta są bardziej oddalone od punktu obliczeniowego niż punkty graniczne krawędzi początkowej. Umocowuje to umiejscowienie sieci odniesienia oraz jej nadajników. Następnie określa się natężenie pola.

Sieć odniesienia jest wówczas przesuwana wokół granicy obszaru rezerwacji częstotliwości do kolejnego punktu granicznego, gdzie natężenie pola jest ponownie określone dla tego samego punktu obliczeniowego. Przedmiotowa procedura jest powtarzana do czasu, gdy sieć odniesienia powróci do pozycji wyjściowej.

Natężenie pola w punkcie obliczeniowym jest oceniane osobno dla każdego nadajnika sieci odniesienia z zastosowaniem charakterystyki powiązanego planistycznego układu odniesienia. Do tego celu, e.r.p. dla sieci odniesienia DVB-T uwzględnia margines na moc wynoszący 3 dB.

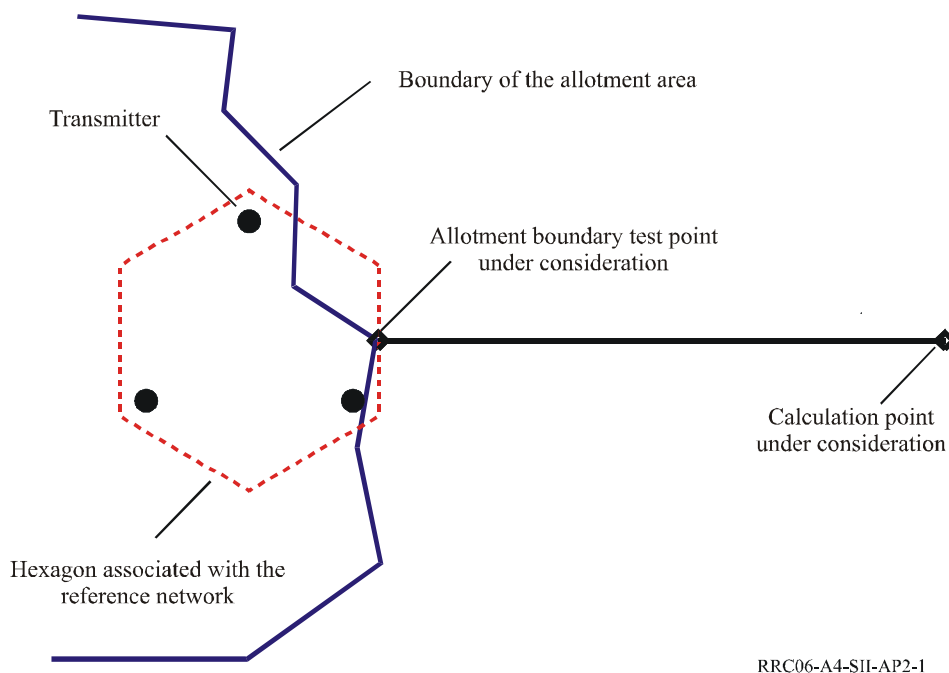
Uzyskana suma natężenia pola wywołującego zakłócenia oceniana jest z wykorzystaniem zwykłej metody sumy mocy.

W przypadku sześciokąta z 3 nadajnikami, nadajnik położony najbliżej punktu granicznego znajduje się po prawej stronie, patrząc od punktu granicznego na punkt obliczeniowy.

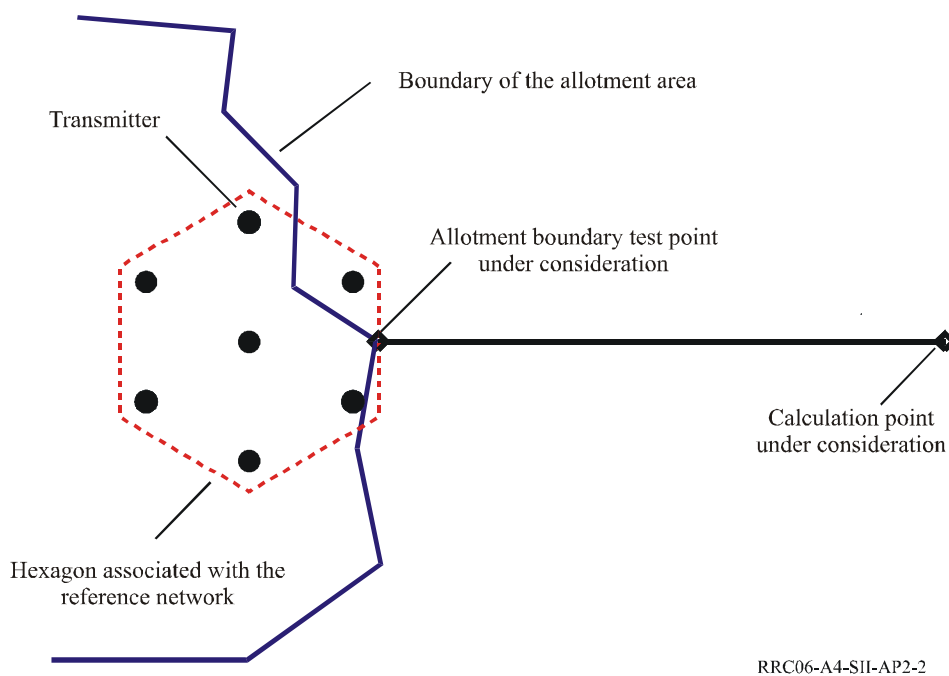
Na poniższych Rysunkach 15 i 16 podano szkic sytuacji dla obu możliwych planistycznych układów odniesienia (3 nadajniki i 7 nadajników).

Z uwagi na przesuwanie pojęciowego sześciokąta wokół granicy państwowej, możliwe jest, że jeden lub więcej nadajników sieci odniesienia może znaleźć się poza terytorium administracji, dla której obszaru rezerwacji częstotliwości wykonywane są obliczenia.

Rys. 2.15
Sześciokąt RN z 3 nadajnikami



Rys. 2.16
Sześciokąt RN z 7 nadajnikami



2.1.2.8. Konstruowanie granicznego konturu natężenia pola

Wartości graniczne natężenia pola to minimalne wartości natężenia pola skutkujące koniecznością koordynacji w Aneksie 4 Części I Porozumienia GE'06.

Graniczny kontur natężenia pola opracowywany jest przy użyciu promieni rozmieszczonych w równych odległościach 1° na 360° wychodzących z pojedynczego punktu odniesienia, którego lokalizacja jest określona dla każdego rodzaju wpisu w Planie cyfrowym w § 4 Aneksu 4 Części II.

Na długości tychże promieni zagregowane natężenie pola *implementacji wpisu z Planu cyfrowego* obliczane jest zgodnie z § 3.1 Aneksu 4, Części II (z zastosowaniem wartości 1% czasu) począwszy od odległości 1000 km, mierzone od najbliższego nadajnika *wdrożenia wpisu z Planu cyfrowego* lub na granicy obszaru rezerwacji częstotliwości, przesuwając się w kierunku punktu odniesienia do czasu osiągnięcia granicznego natężenia pola.

W wyniku połączenia punktów na każdym z promieni, w których osiągnięto graniczne natężenie pola uzyskuje się graniczny kontur natężenia pola.

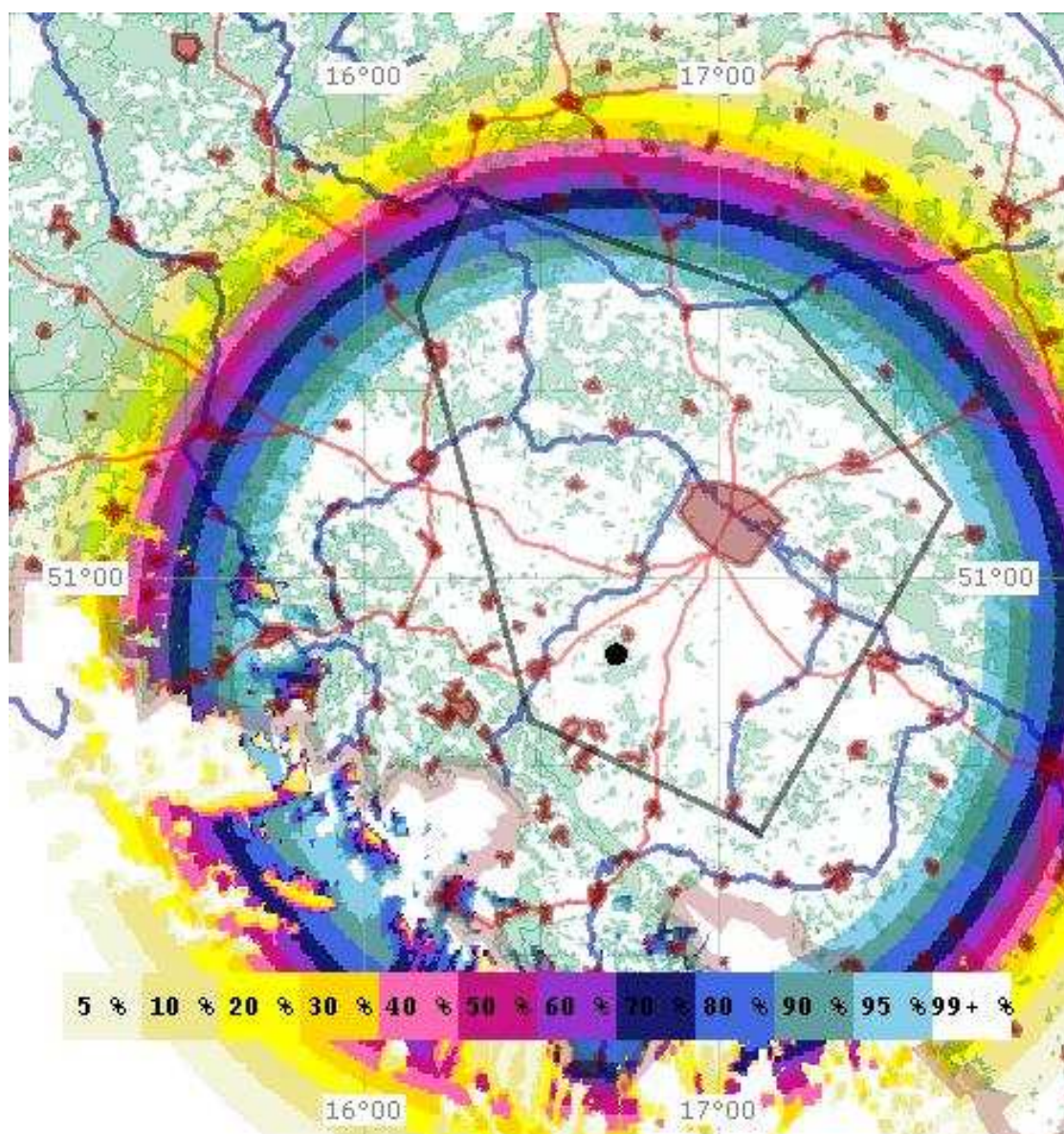
W niektórych przypadkach (np. na obszarach anormalnej propagacji, nadajników wyższej mocy, wrażliwej wartości będącej przyczynkiem do koordynacji) możliwe jest przekroczenie granicznego natężenia pola na maksymalnej odległości 1000 km. W takim przypadku punkt na 1000 km będzie pozycją granicznego konturu natężenia mocy na danym promieniu.

2.2. Optymalizacja sieci

Sieć DVB-T może być implementowana w różnorodny sposób. W Planie GE'06 występują wpisy polskie składające się z: obszaru rezerwacji oraz związanego z nim przydziału częstotliwości. Oznacza to, że dla każdego obszaru rezerwacji wskazano 1 nadajnik cyfrowy, którego parametry są znane i uzgodnione. Uruchomienie takiego nadajnika z parametrami pochodzącymi z wpisu do Planu nie stanowi problemu po zakończeniu okresu przejściowego (po 2015r.). Do tego czasu konieczne jest sprawdzenie wpływu nadajnika na sieci analogowe polskie i zagraniczne i uzyskanie zgody sąsiadów na taką emisję. Jeśli kraj sąsiedni znajduje się w końcowej fazie wdrażania DVB-T (np. Niemcy, Szwecja) lub też ma już szczegółowy harmonogram wyłączeń stacji analogowych (Czechy) nie powinno być

problemu z uzyskaniem jego zgody na uruchomienie nadajnika cyfrowego. Trudniejsza sytuacja będzie na wschodzie Polski, gdzie każdorazowo konieczne będzie koordynowanie międzynarodowe parametrów stacji przed jej uruchomieniem. Ponieważ jednak Plan GE'06 był w dużej części konstruowany na bazie przydziałów Planu ST'61, są one z reguły kompatybilne także z siecią analogową, więc można spodziewać się jedynie ograniczonych problemów międzynarodowych związanych z implementacją sieci. Te problemy nie powstaną w przypadku konwersji kanałów analogowych na cyfrowe z Planu GE'06 – czyli konwersji stacji analogowej na cyfrową w tym samym kanale transmisyjnym. Taka konwersja nie tylko nie będzie pogarszać sytuacji kompatybilnościowej ale ją znacznie poprawi dzięki mniejszym mocom promieniowanym DVB-T.

Posiadanie 1 stacji dla danego obszaru rezerwacji w wielu przypadkach będzie niewystarczające, nawet jeśli będzie to stacja dużej mocy co widać na rysunku 2.17.

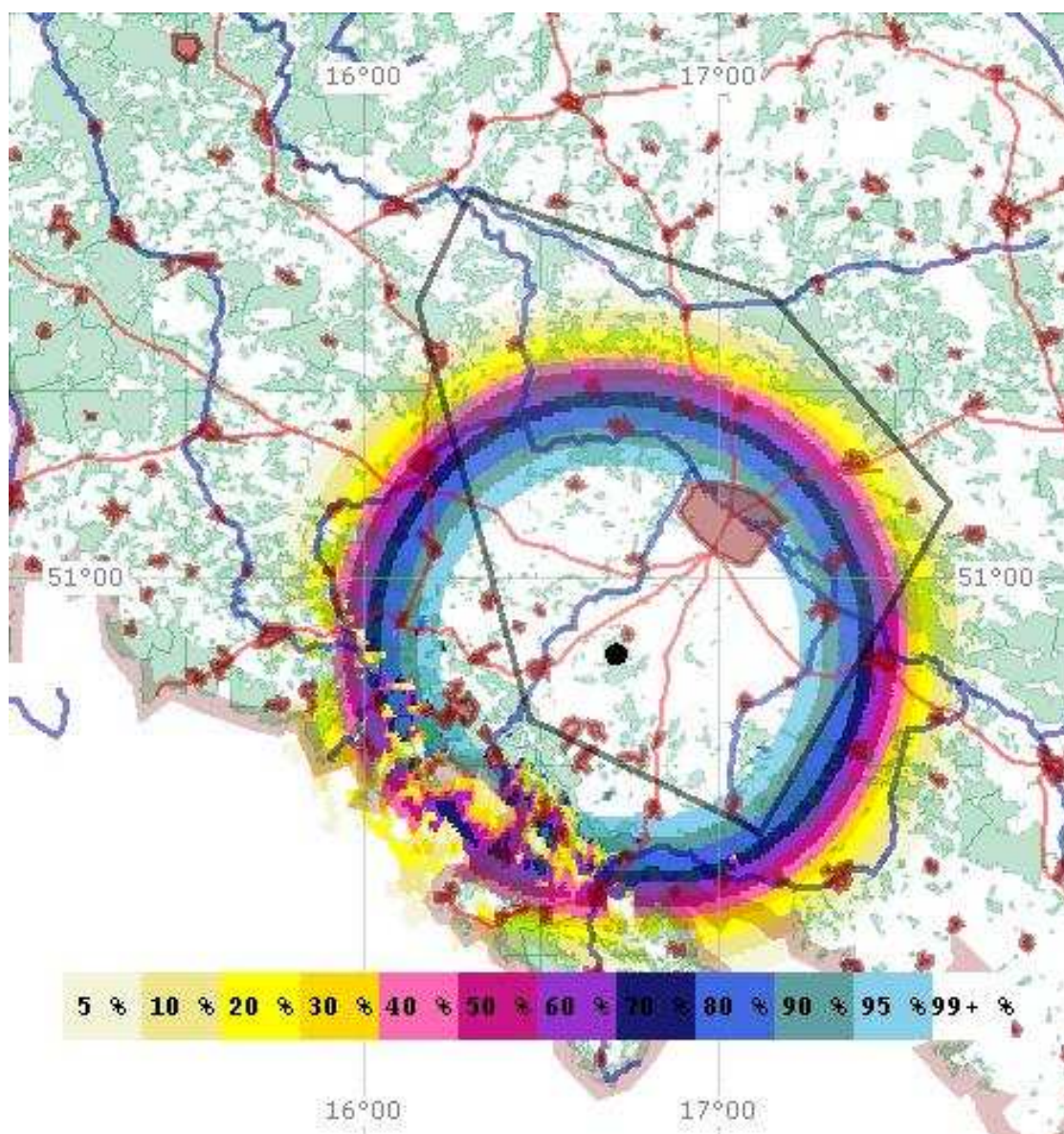


Rysunek 2.17

Zasięg stacji dużej mocy (100kW) na tle obszaru rezerwacji, prawdopodobieństwo pokrycia w warunkach odbioru stacjonarnego.

Jak widać na rysunku część obszaru rezerwacji jest poza zasięgiem (prawdopodobieństwo 95%) nawet w warunkach odbioru stacjonarnego.

Jeszcze trudniejsza sytuacja występuje w warunkach odbioru przenośnego (Rysunek 2.18).



Rysunek 2.18

Zasięg stacji dużej mocy (100kW) na tle obszaru rezerwacji, prawdopodobieństwo pokrycia w warunkach odbioru przenośnego zewnętrznego.

Podane przykłady wskazują, że konieczne będzie uzupełnianie sieci nadajnikami dodatkowymi (uzupełniającymi), pracującymi w tym samym kanale częstotliwości (w sieci SFN). Dotyczyć to będzie szczególnie sytuacji, gdy nadawca będzie oczekiwał zapewnienia odbioru przenośnego. W takiej sytuacji dodanie dodatkowych stacji wymagać będzie z jednej strony wyznaczania obwiedni zakłóceń i sprawdzenia takiej konfiguracji z wpisem do Planu (procedura sprawdzania zgodności z Planem GE'06), z drugiej konieczne będzie przeanalizowanie wypadkowego zasięgu takiej małej sieci SFN pod kątem zapewnienia wymaganego pokrycia obszaru rezerwacji.

Należy zauważyć, że uzyskanie pokrycia obszaru rezerwacji sygnałem DVB-T możliwe będzie w różnych konfiguracjach sieci SFN: można np. wykorzystać nadajnik dużej mocy i uzupełnić jego zasięg nadajnikami mniejszej mocy, można też zmniejszyć moc nadajnika głównego i zastosować nieco więcej nadajników uzupełniających (lub też nadajniki uzupełniające o większej mocy), można też zrezygnować z nadajnika głównego, implementując sieć za pomocą gęstej sieci nadajników małej mocy, traktując nadajnik dużej mocy jako wzorcowe źródło obwiedni zakłóceń interferencyjnych, które określa dopuszczalny poziom zakłóceń generowanych przez sieć. W tym ostatnim przypadku koszty instalacji a zwłaszcza koszty eksploatacji będą z reguły największe, choć może być to w niektórych przypadkach także konfiguracja optymalna.

Problem optymalizacji sieci radiowej do celów transmisji DVB-T można więc zdefiniować następująco:

poszukiwana jest konfiguracja n nadajników, która:

- zapewni uzyskanie żądanego pokrycia całego obszaru rezerwacji (np. $P(95\%)=100\%$) lub jego części (np. $P(95\%)=90\%$);
- zapewni minimalny koszt infrastruktury ($CAPEX \rightarrow \min$), funkcja kosztu: CAPEX.

Gdzie zmiennymi będą charakterystyki stacji (ERP, wysokość zawieszenia, ch-ki anten, opóźnienia sygnału).

W trakcie analiz w przypadku ogólnym możliwe jest poszukiwanie najkorzystniejszych lokalizacji stacji nadawczych i ich parametrów (optymalizacja globalna) lub też wykorzystanie znanych lokalizacji stacji modyfikując jedynie ich parametry (optymalizacja lokalna).

W literaturze znanych jest wiele metod optymalizowania sieci. Należą do nich algorytmy heurystyczne, geometryczne („ręczne”), które wykorzystując wiedzę ludzi na temat planowania sieci, efektów propagacyjnych, zjawisk sieciowych pozwalają na uzyskanie szybkiego optymalnego rozwiązania uzyskanego przez przeanalizowanie najbardziej korzystnych konfiguracji z praktycznego punktu widzenia. Tego typu analizy były przeprowadzane w niniejszym etapie pracy. Dzięki znajomości metod planowania sieci SFN i znając zdefiniowane podstawowe zalecenia projektowe [17, 20, 21], możliwe jest znaczne ograniczenie liczby potencjalnie korzystnych konfiguracji i wybranie najkorzystniejszej z nich do realizacji projektu sieci. Tego typu optymalizacja z reguły nie pozwoli na wyszukanie nowych

najkorzystniejszych lokalizacji stacji, które można by wykorzystać w nowej sieci i zbudować w nich obiekty nadawcze ze względu na rosnące lawinowo możliwości konfiguracyjne sieci. Może być jednak z powodzeniem stosowana w rozwiązaniach praktycznych – gdy znane są lokalizacje istniejących, potencjalnych stacji, dla których można poszukiwać optymalnej konfiguracji parametrów sieciowych.

Poza metodami praktycznymi, „ręcznymi” stosowanymi z powodzeniem na całym świecie, wykorzystującymi wiedzę i doświadczenie planistów, ostatnio rozwijają się także metody automatyczne – w których to komputer może wykonać, w sposób automatyczny selekcję konfiguracji koniecznych do przeanalizowania a następnie na podstawie wyników analizy wskazać konfigurację optymalną. Liczba metod optymalizacyjnych, które mogą być

wykorzystywane jest duża. Ponieważ złożoność problemu jest wysoka, praktycznie każda metoda optymalizacji globalnej może być wykorzystywana w przypadkach rzeczywistych sieci. Przegląd większości metod można znaleźć w [15]. Jednymi z popularnych algorytmów wykorzystywanych do optymalizacji sieci są np. algorytmy i strategie genetyczne bazujące na spotykanych w przyrodzie naturalnych metodach selekcji. Sprawdzają się one dobrze w sytuacjach, gdy problem optymalizacyjny jest trudny do sformalizowania i bardzo złożony, niemniej jednak wymagają bardzo dużej liczby obliczeń funkcji kosztu, co bardzo spowalnia pracę takiego algorytmu. Nadają się one natomiast bardzo dobrze do zrównoleglenia obliczeń w systemach wieloprocessorowych. Inną popularną metodą, zaczerpniętą tym razem z metalurgii, jest tzw. symulowane wyżarzanie (simulated annealing). Jest ona dość często stosowana w narzędziach optymalizacyjnych dla sieci bezprzewodowych, zazwyczaj w kombinacji z innymi metodami. Coraz częściej wykorzystywane są również metody stochastyczne, które pozwalają na dokładniejszą ocenę przestrzeni rozwiązań. Najbardziej nowatorskie metody modelowania algorytmów

optymalizacyjnych bazują na programowaniu liniowym (integer programming) i mieszanym programowaniu całkowitoliczbowym (Mixed Integer Programming – MIP). Do najbardziej znanych metod automatycznych należą algorytmy:

- Greedy (żarłoczne), łatwe w implementacji, konieczny dobry punkt startowy
- Algorytmy optymalizacji lokalnej (ulepszanie istniejącego rozwiązania):
taboo search, local search

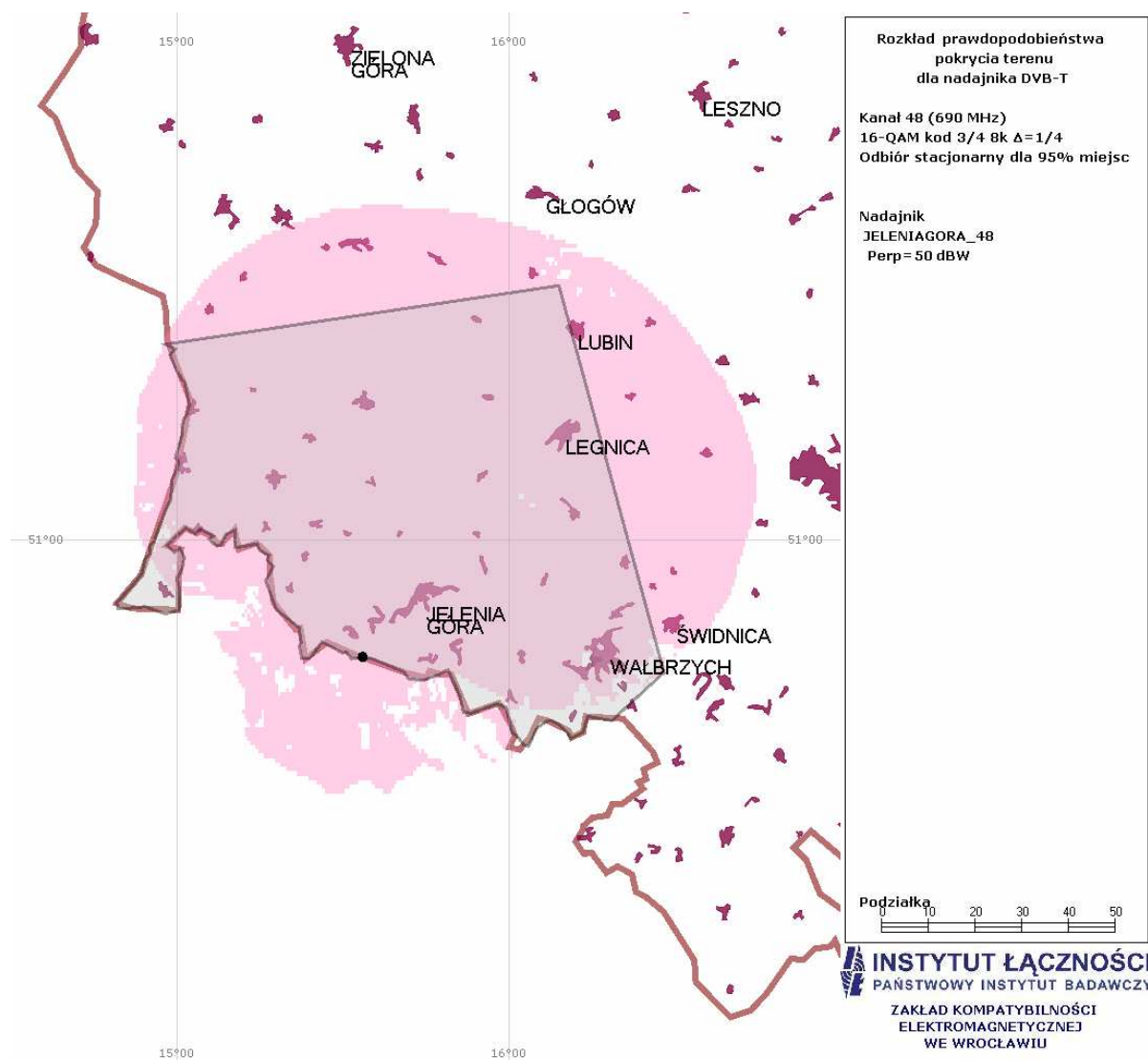
- Optymalizacja globalna: Simulated Annealing, Algorytmy Genetyczne, Strategie Ewolucyjne
- Udoskonalanie (strojenie): Programowanie liniowe/całkowitoliczbowe,
- Auto-tunning automatyczne strojenie RRM

W praktyce największe zastosowania algorytmów automatycznej optymalizacji dotyczą projektowania i optymalizacji sieci komórkowych (GSM, UMTS), poświęca się im coraz więcej publikacji [15], które wykorzystywane są w praktycznych rozwiązaniach sieciowych. Dotyczy to zwłaszcza metod automatycznego strojenia RRM gdzie na bazie bieżącego ruchu, poziomu zakłóceń i sygnałów użytecznych raportowanych przez terminale komórkowe na bieżąco modyfikowane są parametry stacji bazowych. Także w przypadku sieci komórkowych znajdują zastosowania metody udoskonalające czy metody optymalizacji globalnej. Co prawda znane są przypadki wykorzystywania metod optymalizacji globalnej do celów projektowania sieci SFN [11], jednakże są to przykłady analiz teoretycznych, związanych z poszukiwaniem optymalnych lokalizacji stacji. W przypadku sieci DVB-T lub w ogólności w przypadku sieci radiodfuzyjnych, nie ma potrzeby bieżącej konfiguracji parametrów sieci i jej automatycznego strojenia, gdyż celem sieci jest zapewnienie stabilnego i niezmiennego zasięgu obejmującego wszystkich odbiorców znajdujących się w zasięgu. Rzadkie również będą przypadki poszukiwania optymalnych lokalizacji stacji, ze względu na fakt iż sieć radiodfuzyjna jest z reguły rozbudowywana przez lata i posiada już z reguły większość potrzebnej infrastruktury sieciowej. Ciekawe mogą być przypadki algorytmów optymalizacji lokalnej, algorytmy greedy czy też niektóre z elementów optymalizacji globalnej. W przypadku gęstej infrastruktury sieci radiodfuzyjnej, jaka ma miejsce np. w krajach wysoko rozwiniętych, proces optymalizacji sieci polega tylko na optymalizacji mocy nadajników i może być realizowany ręcznie przez doświadczonych projektantów. Stąd też nieznane są przypadki wykorzystywania złożonych algorytmów optymalizacyjnych w przypadku sieci radiodfuzyjnych. W sytuacji polskiej posiadanie rozwiązań automatyzujących może być pożądane, ze względu na fakt, iż infrastruktura sieciowa jest skromna i w wielu przypadkach konieczne będzie jej uzupełnianie o dodatkowe lokalizacje stacji. Wyszukiwanie najbardziej optymalnych lokalizacji stacji bazować będzie z reguły na wskazywanych praktycznych lokalizacjach możliwych do realizacji (często istniejących obiektach innych sieci), stąd można spodziewać się konieczności

oprogramowania algorytmów, które wykorzystają dostępne lokalizacje jako odpowiednie punkty startowe, nie będzie więc konieczności globalnego optymalizowania i wyszukiwania nowych lokalizacji. W celu przygotowania się do opracowania tego typu algorytmów optymalizujących wykonano różnego rodzaju próby „ręcznej” optymalizacji sieci, celem stworzenia podstaw późniejszej automatyzacji. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że żadne algorytmy optymalizujące nie będą w stanie zastąpić człowieka, który musi wskazać odpowiednie punkty startowe i który bazując na wiedzy i doświadczeniu będzie potrafił wybrać lepsze ze wskazywanych przez różnego rodzaju oprogramowanie rozwiązania.

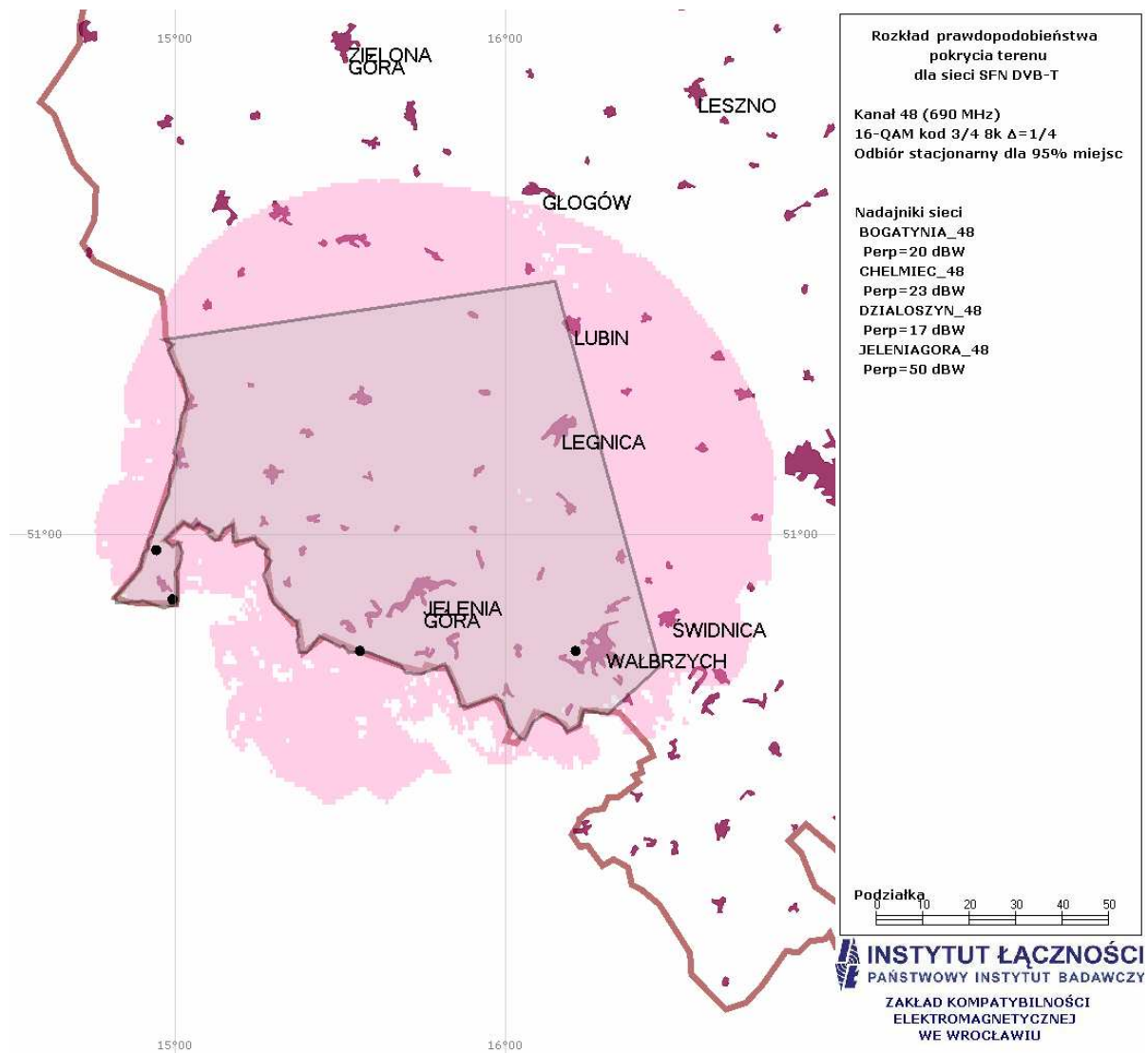
Do analiz wybrano obszar rezerwacji na terenie województwa dolnośląskiego, który cechuje się dużą liczbą obiektów nadawczych przeznaczonych i przystosowanych do transmisji programów radiowych i telewizyjnych. Jako koszt odniesienia (100) przyjęto koszt wyposażenia obiektu dużej mocy (Śnieżne Kotły).

Zasięg uzyskany dzięki obiektowi dużej mocy można zobaczyć na Rys. 2.19.



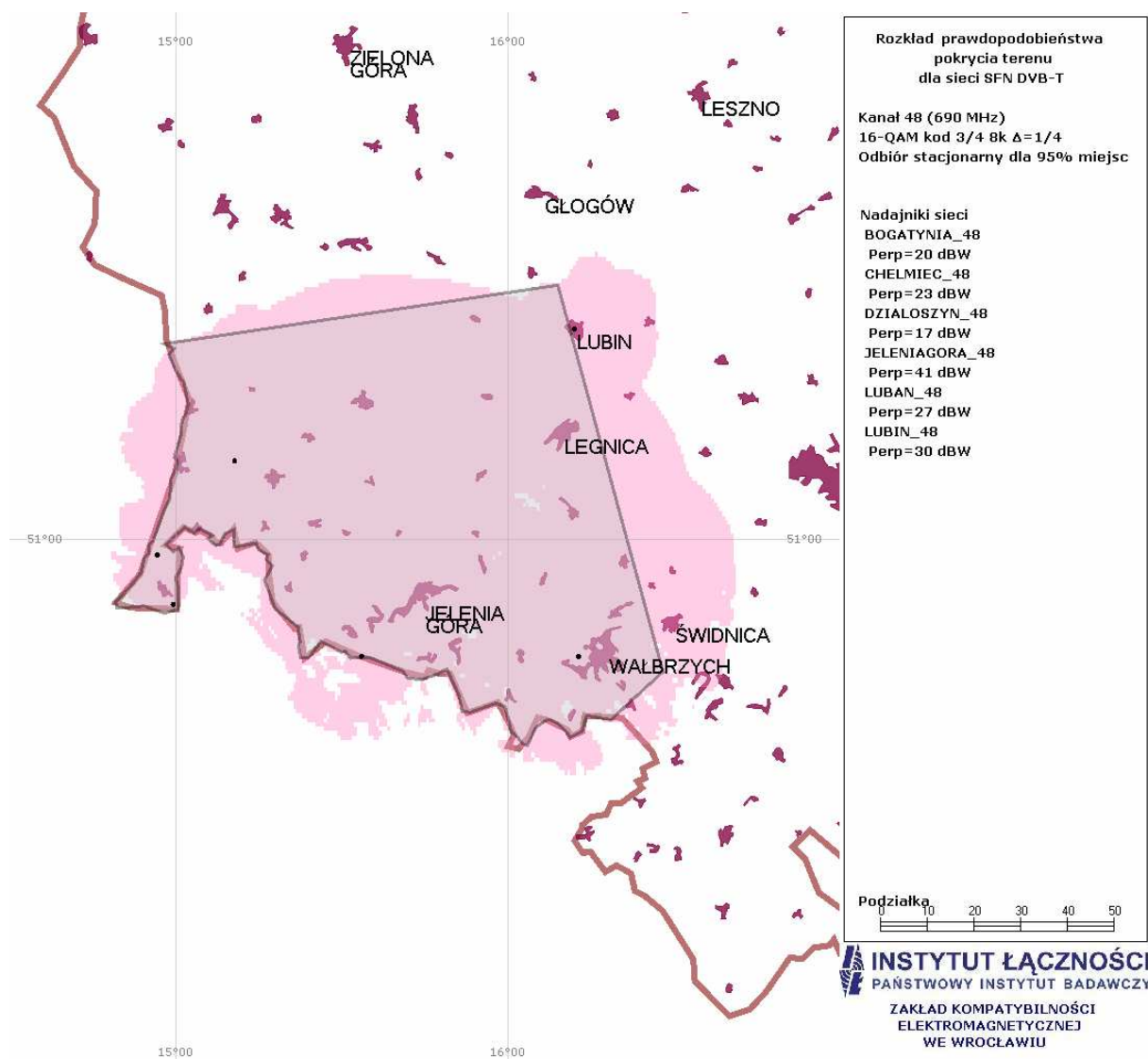
Rys. 2.19. Zasięg sieci (1 nadajnik dużej mocy), koszt: odniesienia 100.

Jak widać na rysunku 2.19 nadajnik dużej mocy nie zapewnia pokrycia całego obszaru rezerwacji. W celu pokrycia części obszaru konieczne jest uzupełnienie nadajnika dużej mocy dodatkowymi nadajnikami. Wskutek analizy różnych wariantów wybrano wariant optymalny z dodatkowymi 3 nadajnikami, który cechuje całkowity koszt sieci równy 108 (Rysunek 2.20.).



Rys. 2.20. Uzupełnienie sieci o 2 dodatkowe nadajniki (koszt 108).

Ponieważ celem optymalizacji jest głównie optymalizacja kosztów, rozważono warianty z mniejszą mocą nadajnika głównego, ze względu na fakt iż znaczną część kosztów sieci stanowi koszt nadajnika głównego. Wskutek analiz różnych konfiguracji można zaproponować następujące rozwiązanie cechujące się znacznie niższym kosztem wypadkowym (Rysunek 2.21).



Rys. 2.21 Sieć składająca się z 6 nadajników, koszt: 57

Sieć na Rysunku 2.21 stanowi przykład jednego z optymalnych rozwiązań cechujących się zapewnieniem obszaru pokrycia oraz niskim kosztem infrastruktury. Dużym ograniczeniem w zmniejszaniu kosztów sieci jest brak dostępnych miejsc nadawczych. Gdyby wykorzystać też inne obiekty nadawcze (np. telefonii komórkowej) koszt budowy sieci mógłby być jeszcze niższy, należałoby jednak każdorazowo uwzględniać koszt przystosowania takich obiektów do emisji telewizyjnej.

2.3. Podsumowanie

Problem planowania i optymalizacji sieci DVB-T jest problemem niezwykle złożonym. Nie wystarczy tak jak w wielu innych systemach radiowych oszacowanie rozkładu natężenia pola sygnału użytecznego, trzeba uwzględniać statystyczne sumowanie sygnałów użytecznych i zakłóceń, konieczne jest uwzględnienie zakłóceń interferencyjnych do i z sieci analogowych polskich i zagranicznych, konieczne jest sprawdzenie czy dany projekt spełnia wymagania Planu GE'06. Nałożenie tych wszystkich warunków a jednocześnie oczekiwanie minimalnego kosztu sieci staje się problemem mocno złożonym i nawet zaawansowane algorytmy komputerowe będą niewystarczające do uzyskania najlepszych wyników projektowych. Potrzebna będzie też wiedza i doświadczenie projektantów, którzy na bieżąco będą ustalać warunki brzegowe, modyfikować działania algorytmów oraz analizować uzyskiwane wyniki. Zapewne konieczne będzie też opracowanie i stosowanie własnych algorytmów optymalizujących bazujących w dużej części na znanych metodach ale także wykorzystujących własne doświadczenia planistów. Opracowanie tego typu własnych metod jest niezwykle cennym zagadnieniem naukowo-rozwojowym ze względu na ich późniejszą atrakcyjność w środowisku biznesowym. Rozwijanie i oprogramowanie takich metod będzie w polu zainteresowań autorów w kolejnych latach.

2.4. Literatura

- [1] ETSI EN 300401 *Radio broadcasting systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers* ETSI, 1995-2001
- [2] ETSI TS 102 428, *DMB video service; User Application Specification* ETSI, 2005
- [3] ETSI EN 302 304 *Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)* ETSI, 2004
- [4] ETSI TR 102 401 *Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission to Handheld Terminals (DVB-H); Validation Task Force Report*), ETSI, 2005

- [5] ITU-R, Regional FINAL ACTS of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06) Geneva, June, 2006
- [6] ETSI EN 300 744; *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television* ETSI, 2004
- [7] J. Sobolewski, D. Więcek, *Planowanie sieci jednoczęstotliwościowej DVB-T*, Krajowa Konferencja Radiodfuzji, Radiokomunikacji i Telewizji, Kraków, czerwiec 2005
- [8] ETSI EN 300401 *Radio broadcasting systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers* ETSI, 1995-2001
- [9] ITU-R, Regional Radiocommunication Conference RRC: *Report of the first session of the conference to the second session of the conference*, Geneva, May, 2004,
- [10] ITU-R, Recommendation P.1546-2: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz, Geneva August 2005
- [11] Ligeti A. "Single Frequency Network Planning" rozprawa doktorska, Royal Institute of Technology, Sztokholm, 1999
- [12] Łotoczko O., Więcek D.: Problemy implementacji stacji DVB-T na potrzeby planu RRC`06 (Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, KKRRiT 2005, 15-17 czerwca 2005
- [13] O. Łotoczko, J. Sobolewski, D. Więcek, Analiza możliwości implementacji Planu sieci obszarów rezerwacji, Sprawozdanie nr P21/21400694/886/04, Instytut Łączności, Wrocław 2004
- [14] ITU-R, Rec. BT. 1368-3, *Planning Criteria for Digital Terrestrial Television Services in the VHF/UHF Bands*, Geneva 2002,
- [15] M. J. Nawrocki, M. Dohler, A. H. Aghvami (Editors), *Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and Automated Optimisation: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, 2006

- [16] Praca zbiorowa pod kier. J. Sobolewskiego: *Studium koegzystencji wybranych cyfrowych systemów radiokomunikacyjnych*, Sprawozdanie nr P21/21300024/882/2004, Instytut Łączności, Wrocław 2004
- [17] Praca zbiorowa pod kier. D. Więcka: *Metody optymalnego wykorzystania widma radiowego przez sieci naziemne radiodifuzji cyfrowej*, Sprawozdanie nr Z21/21300015/951/05, Instytut Łączności, Warszawa-Wrocław 2005
- [18] Praca zbiorowa pod kier. D. Więcka: *Analiza warunków technicznych planowania wybranych sieci jednoczęstotliwościowych SFN naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T*, 21/21400755/965/05, W-w 2005
- [19] Radio Regulations, Genewa 2003
- [20] J. Sobolewski, D. Więcek, *Planowanie sieci jednoczęstotliwościowej DVB-T*, Krajowa Konferencja Radiodifuzji, Radiokomunikacji i Telewizji, Kraków, czerwiec 2005
- [21] Więcek D: *Wybrane aspekty techniczne planowania sieci DVB-T*, KKRRiT'2003, Wrocław, czerwiec 2003
- [22] Więcek D.: *Ograniczenia planowania i projektowania rozległych sieci jednoczęstotliwościowych SFN telewizji DVB-T*, KKRRiT'2006, Poznań, czerwiec 2006

3. Analiza i badanie algorytmów kodowania MPEG2, AVC/H264 (MPEG4)

3.1. Wprowadzenie

Niniejszą praca jest kontynuacją wykonanej w 2005 r. teoretycznej analizy porównawczej algorytmów kodowania sygnału wizyjnego MPEG-2 i MPEG-4 w celu określenia liczby programów w multipleksie i ma na celu praktyczne potwierdzenie wyciągniętych w roku ubiegłym wniosków.

Dotyczyły one porównania metod kodowania obrazu MPEG-2 i MPEG-4, a właściwie jego uproszczonej wersji AVC/H264 w telewizji programowej z punktu widzenia jakości obrazu i prędkości bitowej przesyłanych sygnałów.

Weryfikacja wyciągniętych wniosków obejmuje przeprowadzenie badań laboratoryjnych jakości obrazów uzyskiwanej przy kodowaniu sygnałów według obydwu standardów. Badania takie zostały zapoczątkowane przez grupę roboczą ISO/IEC TC1/ SG29/WG11 i zostaną omówione w rozdziale 3.4. Dotyczyły one wielu zastosowań standardu AVC/H264. W prowadzonej pracy szczególny nacisk położono na możliwość umieszczenia jak największej liczby programów w multipleksie przy dużej jakości odtwarzanego obrazu. Dlatego niezbędne jest przeprowadzenie serii laboratoryjnych pomiarów jakościowych obrazów odtwarzanych w obu standardach.

3.2. Podstawowe różnice standardów MPEG-2 i AVC/H264

Standardy MPEG-2 i AVC/H264 należą do rodziny standardów opracowanych przez ISO i ITU pod kątem zastosowań w telewizji programowej.

Należą one do metod nieodwracalnych tzn. takich w których część informacji nieistotnych w odtwarzanym obrazie, jest bezpowrotnie tracona w procesie kodowania.

Stosowane w nich metody kompresji wykorzystują:

- korelację przestrzenną,
- korelację czasową,
- właściwości ludzkiego oka,
- właściwości statystyczne programu.

Powyższe własności są wykorzystywane w omawianych standardach w różny sposób, co umożliwia uzyskanie innych parametrów technicznych.

Korelacja przestrzenna jest wykorzystywana odpowiednio:

STANDARD MPEG-2

- podział obrazu na makrobloki o stałych rozmiarach 16 x 16,
- zastosowanie dyskretnej transformacji kosinusowej 8 x 8 DTC,

STANDARD AVC/H264

- adaptacyjny podział obrazu na makrobloki o rozmiarach od 16 x 16 do 4 x 4,
- zastosowanie transformaty 4 x 4 zawierającej liczby całkowite.

Korelacja czasowa jest wykorzystywana odpowiednio:

STANDARD MPEG-2

- prosty wektor ruchu,
- prognozowanie jedynie między polami (obrazu)
- wykorzystanie jedynie sąsiednich pól (obrazu),
- obrazy I, B i P.

STANDARD AVC/H264

- ważne wektory ruchu,
- prognozowanie elastyczne wewnątrz i między polami obrazu,
- zwielokrotnione wykorzystanie pól obrazu,
- grupy obrazów I, B i P.

Właściwości oka są wykorzystywane odpowiednio:

STANDARD MPEG-2

- pomijanie współczynników DTC (transformat) przy kwantowaniu
- zaokrąglanie

STANDARD AVC/H264

- zastosowanie „ w pętli „ filtru zapobiegającego powstawaniu zniekształceń

wywołanych efektem podziału na bloki.

Właściwości statystyczne programu są wykorzystywane przez:

STANDARD MPEG-2

- typowe kodowanie ze zmienną długością słowa (VLC).

STANDARD AVC/H264

- kontekstowe kodowanie entropijne (CABAC) specjalnie zoptymalizowane dla H264.

Zastosowanie powyższych rozwiązań technicznych spowodowało powstanie standardów o różnych parametrach, przy których standard AVC/H264 zapewnia dla takiej samej subiektywnie ocenianej jakości obrazu uzyskanie prędkości bitowej o połowę mniejszej niż standard MPEG-2.

3.3. Uzasadnienie konieczności przeprowadzania pomiarów i wyboru metody pomiaru oraz podstawowe założenia

Pierwszym standardem telewizji cyfrowej opracowanym pod kątem zastosowania w telewizji programowej był standard MPEG-2 zgodny z normą ISO/IEC 13812-2 (1994) i jako jedyny był zastosowany w praktyce we wprowadzanych sukcesywnie do eksploatacji systemach naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T w krajach które rozpoczęły emisję cyfrową. Opracowanie w roku 2003 standardu AVC będącego odmianą standardu MPEG-4 zgodnie z normą ISO/IEC 14496-10 (2003) charakteryzującego się korzystniejszymi parametrami pociągnęło za sobą próby zastosowania tego standardu dla wielu służb. Przyjęto jednak wprowadzenie tego standardu w pierwszej kolejności dla służb nowych, dotychczas nie eksploatowanych jak HDTV, DVB-H, a także dla programów płatnych i przesyłania sygnałów telewizyjnych sieciami IP.

Jednakże, ponieważ standard AVC jest standardem przyszłościowym i będzie stopniowo wypierać standard MPEG-2, który staje się standardem przestarzałym (opracowanym przed 12-tu laty), należy przeprowadzone rozważania teoretyczne potwierdzić laboratoryjnymi badaniami weryfikującymi.

Badania takie zostały zapoczątkowane w ramach prac grupy ISO/IEC TC1/SG29/WG11 i przedstawione w sprawozdaniu z formalnych badań weryfikacyjnych –Waikoloa, grudzień 2003. Wyniki tych badań zostaną omówione w rozdziale 4.

Planowane w Polsce badania zakładają przede wszystkim, że podstawowym celem jaki należy osiągnąć jest zadowolenie widza z oglądanego programu. Ponieważ treść programu jest od spraw technicznych niezależna badania dotyczą jakości obrazu, która jest funkcją zarówno parametrów technicznych toru przesyłowego jak i własności zmysłów słuchu i wzroku takich jak np. czułość wzroku, jego własności widmowe, bezwładność zmysłu wzroku i jego zdolność rozdzielcza. .

W technice telewizyjnej są stosowane dwa rodzaje metod pomiarowych: pomiary obiektywne i pomiary subiektywne.

Metody obiektywne polegają na pomiarze poszczególnych parametrów odtwarzanego obrazu przez pomiar sygnału wizyjnego za pomocą przyrządów pomiarowych. Uzyskane wyniki są ściśle związane z przeprowadzanymi w torze procesami oraz występującymi zakłóceniami i zniekształceniami przesyłanych sygnałów. Zapewniają one w zasadzie większą dokładność niż pomiary subiektywne, polegające na obserwacji obrazu telewizyjnego na ekranie odbiornika przez grupę obserwatorów. W przypadku stosowania metod obiektywnych dokładność pomiaru zależy przede wszystkim od dokładności stosowanych przyrządów pomiarowych.

Metody subiektywne polegają na obserwacji odtwarzanych obrazów na ekranach odbiorników kontrolnych oraz ich ocenie przez grupę obserwatorów i traktowaniu wyników w sposób statystyczny. Wyniki uzyskane przy pomiarach subiektywnych są niezależne od procesów i rodzajów zakłóceń oraz zniekształceń jakim podlegają badane sygnały.

Przyrządy pomiarowe dla standardu MPEG-2 zostały już opracowane i są eksploatowane. Podstawowym przyrządem, umożliwiającym ocenę jakości odtwarzanego obrazu jest „Digital Video Quality Analyzer” produkowany przez firmę Rohde&Schwarz.

Umożliwia on wykonywanie następujących pomiarów;

1. pomiary jakości w czasie rzeczywistym,
2. monitorowanie stanów „zamrożenia obrazu” oraz utraty sygnału audio,
3. długoterminowy pomiar jakości obrazu,
4. monitorowanie wybranych błędów strumienia transportowego.

Zastosowanie tego przyrządu umożliwia przeprowadzenie całego zakresu badań jakości obrazu kodowanego według standardu MPEG-2.

Niestety dla standardu AVC/H264 nie wyprodukowano jeszcze żadnych przyrządów pomiarowych służących do tego celu. Przeprowadzenie więc badań porównawczych standardów metodami obiektywnymi jest obecnie nie możliwe.

Ponadto wyniki badań obiektywnych nie dają pełnej informacji o wrażeniu jakie odnosi widz oglądając odtwarzany obraz. Szczególnie w telewizji cyfrowej brak jest dokładnych korelacji pomiędzy wartością zniekształcenia a wrażeniem wzrokowym odnoszonym przez widza przy obserwacji zniekształconego obrazu. Oprócz tego istnieją specyficzne zjawiska wzrokowe których nie można stwierdzić za pomocą pomiaru sygnałów. Należą do nich:

- zjawisko kontrastu granicznego (pozorne podkreślanie granic przylegających do siebie powierzchni o różnej luminancji),
- zjawisko kontrastu świetlnego (pozorna zmiana luminancji fragmentu obrazu w zależności od tła),
- zjawisko iradiacji świetlnej (pozorne przesunięcie granicy pomiędzy dwoma powierzchniami),
- zjawisko kontrastu „jednoczesnego” (zmiana wrażenia wzrokowego w zależności od bodźców wywołanych sąsiednimi kolorami,
- zjawisko kontrastu „kolejnego” (zmiana wrażenia wzrokowego wywołanego danym kolorem, spowodowana podrażnieniem nerwu wzrokowego przez poprzednio oglądany kolor),
- zjawisko szumu (szумы o stałej wartości dają różne wrażenia w zależności od tła i treści obrazu).

Biorąc powyższe pod uwagę do oceny działania systemów telewizyjnych, a szczególnie systemów telewizji cyfrowej, w sposób ściśle związany z przewidywaną reakcją widzów, obserwujących przesyłane obrazy są stosowane metody subiektywne.

Metodyka badań subiektywnych zostanie omówiona szczegółowo w rozdziale 3.5.

3.4. Analiza prac organizacji międzynarodowych w tym zakresie

Proces cyfryzacji sygnałów telewizyjnych rozpoczęto od cyfryzacji sygnałów w studio telewizyjnym zgodnie z Zaleceniem ITU-R BT 601-5. Wytwarzane w studio sygnały cyfrowe (szeregowy) charakteryzują się bardzo dużą prędkością bitową wymagającą kanału o bardzo szerokim paśmie przepustowym np. dla telewizji standardowej rozdzielczości (SDTV) jest to - 270 MB/s, a dla telewizji o dużej rozdzielczości obrazu – 1,5 GB/s. W celu przesłania tych sygnałów drogą naziemną, kablową lub satelitarną jest niezbędne przeprowadzenie kompresji tych sygnałów.

Prace dotyczące kompresji cyfrowych sygnałów telewizyjnych rozpoczęte w latach siedemdziesiątych opierały się na wykorzystaniu:

- - redundancji wizualnej (różna czułość oka na kolory i szczegóły),
- - redundancji przestrzennej,
- - redundancji czasowej,
- - redundancji statystycznej.

Pierwszym standardem transmisyjnym telewizji cyfrowej był opracowany w roku 1985 standard JPEG oparty na dyskretniej transformacji kosinusowej, przeznaczony przede wszystkim do kodowania obrazów stałych i zawierających powolny ruch.

Prace normalizacyjne dotyczące opracowywania nowych standardów kompresji sygnałów wizyjnych były prowadzone przez

- ITU-T dla zastosowań w telekomunikacji,
- ISO/IEC (tym w grupie ekspertów MPEG) dla transmisji i emisji sygnałów standardowej i dużej rozdzielczości obrazu,
- Microsoft – system WM10 (SMPTE VC1) o małej prędkości bitowej dla zastosowań w Internecie i dla techniki komputerowej.

Opracowały one odpowiednio:

ITU-T:

1. Zalecenie H 120 (1988) kodowanie dla wizjokonferencji,
2. Zalecenie H 261 (1991) kompatybilny ze standardem MPEG-1,
3. Zalecenie H 262 (1993) kompatybilny ze standardem MPEG-2,
4. Zalecenie H 263 (1995) kodowanie o małej prędkości bitowej,
5. Zalecenie H 264 (2002) kompatybilny ze standardem AVC (MPEG-4 part 10)

ISO/IEC:

1. MPEG-1 part2 według normy ISO/IEC 11172-2(1993), kompatybilny z H 261,
2. MPEG-2 part2 według normy ISO/IEC 13818-2(2000), kompatybilny z H 262,
3. MPEG-4 part2 według normy ISO/IEC 14496-2(2004),
4. MPEG-4 part 10 AVC według normy ISO/IEC 14496-10(2005), kompatybilny z H 264.

Dla celów telewizji programowej wykorzystuje się od 12-tu lat standard MPEG-2 i dla tego standardu przyjęto wiele Zaleceń ułatwiających jego zastosowanie np. Zalecenia: ITU-R BT 1532, BT 1533, BT 1550 i BT 1551 oraz ITU-T J82, J89, J96 , J132, J183, J187, i J189, H262, a także dokumenty ETSI jak TS 101 154, TS 102 152, TS 102 034 i ETR 154.

Opracowanie w 2003 r. standardu AVC, będącego uproszczeniem standardu MPEG-4 dla zastosowań w telewizji programowej pociągnęło za sobą sukcesywne wprowadzanie tego standardu do wielu służb transmitujących sygnały telewizyjne. Dla tego standardu opracowano jedynie Zalecenie ITU-T H 264, oraz dokumenty ETSI dotyczące systemów wykorzystujących standard AVC jak np. system DVB-H.

W celu oceny parametrów standardów kodowania przeprowadzono w ramach Grupy Roboczej WG11 – SC29 ISO/IEC JTC1 serie formalnych badań weryfikacyjnych.

Badania dotyczyły porównania wydajności kodowania według standardu AVC z wydajnością kodowania według stosowanych standardów MPEG. W standardach tych stosuje się różne warianty kompresji sygnału, zwane profilami. Najczęściej stosowane są profil prosty, profil główny i profil wysoki. Umożliwiają one pokrycie szerokiego zakresu zastosowań transmitowanych sygnałów wizyjnych.

Badania zostały przeprowadzone w laboratoriach FUB/ISCTI (Włochy), NIST (USA) i TUM (Niemcy). Obejmowały one jedną serię pomiarów dla profilu prostego i trzy serie dla profilu głównego, mianowicie:

1. pomiary dla profilu podstawowego o rozdzielczości multimedialnej, (<1Mb/s) stosowanego w wideokonferencji, Internecie i telefonach mobilnych. Pomiary dla profilu głównego obejmują różne rozdzielczości i szeroki zakres zastosowań jak np. emisja, transmisja, gromadzenie danych itp.
2. pomiary dla profilu głównego o rozdzielczości multimedialnej (<1Mb/s) stosowanego w Internecie i gromadzeniu danych,

3. pomiary dla profilu głównego o rozdzielczości standardowej (8Mb/s) stosowanego przy emisji, gromadzeniu danych i w serwerach domowych,
4. pomiary dla profilu głównego o dużej rozdzielczości (20Mb/s) stosowanego przy emisji i gromadzeniu obrazów o dużej rozdzielczości (HDTV).

Badania przeprowadzono metodami subiektywnymi w warunkach zgodnych z Zaleceniem ITU-R BT 500, wykorzystując obrazy kontrolne podane w Zaleceniu ITU-R BT709, kodowane zgodnie z Zaleceniem ITU-R BT601, wykorzystując obserwatorów niespecjalistów w wieku od 20 do 35 lat. Zastosowano metody dwubodźcowe, dla pierwszych dwóch serii, wykonanych w laboratorium ISCTI /FUB – metodę dwubodźcową zauważalności zakłóceń DSIS w sygnałach multimedialnych, w trzeciej serii, wykonanej w laboratorium TUM i czwartej wykonanej w laboratorium NIST dwubodźcową metodę ciągłej oceny jakości obrazu DSCQS. Metody te zostaną omówione w rozdziale 5.

Zgrupowane w tabelach wyniki badań pokazały, że standard AVC zapewnia większą wydajność kodowania co najmniej 1,5 razy większą w 78% przypadków statystycznych, z których 77% zapewnia wydajność co najmniej 2 razy większą.

3.5. Metodyka pomiarów subiektywnych

3.5.1. Opis ogólny

Subiektywne metody oceny systemów telewizyjnych są wykorzystywane do oceny ich działania w sposób ściśle związany z przewidywaną reakcją widzów, obserwujących obrazy przesyłane przez badany system.

Stosowane są dwa rodzaje oceny subiektywnej. Pierwszy z nich polega na ocenie parametrów systemu w warunkach optymalnych. Metody te nazywane są metodami subiektywnej oceny jakości obrazu. W drugim natomiast jest oceniana zdolność systemu do zachowania określonej jakości w warunkach nieoptymalnych, odpowiadającym warunkom występującym podczas transmisji bądź emisji. Metody te są nazywane subiektywnymi metodami zauważalności zniekształceń.

W zależności od dostępności obrazu odniesienia można wyróżnić metody: dwubodźcowe i jednobodźcowe. W metodach dwubodźcowych nadaje się cyklicznie obraz odniesienia oraz obraz zniekształcony pochodzący z tego samego źródła. W

metodach jednobodźcowych nie nadaje się obrazów odniesienia, a obserwatorzy wystawiają jedną ocenę całej sekwencji obrazów.. Metody te mają wiele parametrów wspólnych dla wszystkich metod. Są to:

- ogólne warunki obserwacji,
- wybór obrazów kontrolnych,
- określenie zmienianych parametrów,
- wybór obserwatorów ,
- wybór metody pomiarowej,
- przygotowanie sesji pomiarowej i jej przebieg,
- przedstawienie wyników pomiarów.

W niektórych przypadkach parametry te są niezależne od rodzaju mierzonych sygnałów w innych zależą od nich. Ogólne informacje dotyczące badań subiektywnej jakości obrazu podano w Zaleceniu ITU-R BT 500-11, natomiast szczegóły dotyczące zastosowania tych metod dla różnych rodzajów sygnałów podają odpowiednie Zalecenia ITU-R. Badania subiektywne systemów telewizji cyfrowej standardowej jakości (SDTV) powinny być zgodne z Zaleceniem ITU-R BT 1129-2.

Aby wykonać odpowiednie, prawidłowe badania subiektywne należy przede wszystkim wybrać z wszystkich dostępnych opcji taką, która najdokładniej odpowiada warunkom spełnianym przez oceniane systemy, następnie posługując się odpowiednimi Zaleceniami ITU-R (w przypadku standardowej telewizji cyfrowej BT 500-11 i BT 1129-2) określić wielkości parametrów wspólnych i stosowaną metodę pomiarową.

3.5.2. Rodzaje metod subiektywnych

Jak już wspomniano powyżej metody oceny subiektywnej obrazu telewizyjnego dzielimy na dwie podstawowe grupy:

- metody oceny jakości, której obraz jest oceniany według ustalonej skali jakości,
- metody zauważalności zniekształceń i zakłóceń w których obraz jest oceniany według ustalonej skali zauważalności zniekształceń.

W obydwu tych przypadkach, w zależności od dostępności obrazu odniesienia można wyróżnić metody dwubodźcowe i jednobodźcowe.

Zgodnie z Zaleceniem ITU-R BT 500-11 podstawowymi, zalecanymi metodami oceny subiektywnej są metody dwubodźcowe:

1. dwubodźcowa metoda zauważalności zniekształceń (DSIS) – metoda EBU.
2. dwubodźcowa metoda ciągłej oceny jakości (DSCQS).

Znane są również metody alternatywne, które mogą być stosowane w odpowiednich warunkach. Metody te znajdują się jeszcze częściowo na etapie badań.

Należy do nich przede wszystkim

3. jednobodźcowa metoda ciągłej oceny jakości obrazu (SSCQE), stosowana w przypadku ciągłej oceny jakości obrazów kodowanych cyfrowo bez źródła odniesienia, oraz powstała z niej
4. równoczesna dwubodźcowa metoda ciągłej oceny jakości (SDSCE)

Spotykane są również choć rzadziej stosowane

Metody jednobodźcowe(SS)

- przymiotnikowych kategorii opinii,
- liczbowych kategorii opinii,
- opinii nieskategoryzowanych,
- parametrów.

Metody porównawcze

- przymiotnikowych kategorii opinii,
- liczbowych kategorii opinii,
- opinii nieskategoryzowanych,
- parametrów.

3.6. Specyfika pomiarów subiektywnych dla telewizji cyfrowej

3.6.1. Omówienie ogólne

Podstawy przeprowadzenia badań subiektywnych omówiono szczegółowo z Zaleceniu ITU-R BT 500. Jednakże ze względu na specyfikę różnych systemów telewizyjnych jak np. telewizja cyfrowa, telewizja analogowa, telewizja o dużej rozdzielczości obrazu niektóre parametry metody mają wartości szczególnie charakterystyczne dla tego systemu. Specyfikę pomiarów telewizji cyfrowej o standardowej jakości omówiono w Zaleceniu

ITU-R BT 1129-2. Podano w nim specyficzne warunki obserwacji i stosowane metody oraz wybór obrazów krytycznych.

3.6.2. Warunki obserwacji

Podstawowe wymagania dotyczące warunków obserwacji są przedstawione w Zaleceniu ITU-R BT.500, § 2.1. Specyficzne warunki obserwacji stosowane w telewizji cyfrowej podano w zaleceniu ITU-R BT.1129-2:1998.

3.7. Badania w warunkach laboratoryjnych

Warunki laboratoryjne umożliwiają sprawdzenie mierzonego systemu w warunkach krytycznych. Specyficzne warunki obserwacji przy ocenie subiektywnej obrazów TV cyfrowej w warunkach laboratoryjnych są przedstawione w Tablicy 3.1.

Tablica 3.1

Specyficzne warunki obserwacji w przypadku ocen subiektywnych obrazów systemów telewizji cyfrowych dokonywanych w warunkach laboratoryjnych

Warunek	Opis	Wartości
a	Stosunek odległości obserwacji do wysokości obrazu telewizyjnego	$4 H$ i $6 H$
b	Wartość szczytowa luminancji	70 cd/m^2
c	Kąt obserwacji odpowiadający tej części tła, która jest zgodna z wymaganiami	$\geq 43^\circ H$ x $57^\circ W$
d	Obraz	Wysokiej jakości. Rozmiar $\geq 20''$ (50 cm)

3.8. Warunki badań w warunkach domowych

Warunki domowe umożliwiają średnią ocenę jakości oceny obrazów telewizji cyfrowej. Specyficzne warunki obserwacji przy ocenie subiektywnej obrazów TV cyfrowej o jakości standardowej (SDTV) w warunkach domowych są przedstawione w Tablicy 3.2.

Tablica 3.2

Specyficzne warunki obserwacji w przypadku ocen subiektywnych obrazów systemów telewizji cyfrowych dokonywanych w warunkach domowych

Warunek	Opis	Wartości
a	Stosunek odległości obserwacji do wysokości obrazu telewizyjnego	6 H
b	Rozmiar obrazu dla formatu 4/3	Od 25" do 29"
c	Rozmiar obrazu dla formatu 16/9	Od 32" do 36"
d	Standard rozdzielczości obrazu	SDTV
e	Wartość szczytowa luminancji	200 cd/m ²
f	Luminancja otoczenia (Światło zewnętrzne padające na ekran należy mierzyć pionowo na ekranie)	200 lux

3.8.1. Wybór obrazów kontrolnych

W przypadku oceny jakości obrazu jest korzystne wybranie obrazów, na których zakłócenia są szczególnie widoczne, a więc zawierających dużo szczegółów i obrazów o złożonym ruchu. Obrazy te nazwane są obrazami krytycznymi. Zgodnie z zaleceniem ITU R BT.1129-2. wybrano 15 obrazów testowych na podstawie analizy strat części obrazu według ogólnej koncepcji charakterystyki strat treści obrazu podanej Poprawce 1 do Załącznika 1 Zalecenia ITU-R BT.500. Aby stosować te metody do systemów telewizji cyfrowej, należy stosować poniższe procedury.

3.8.2. Procedura określenia krytyczności obrazu

- *Krok 1:* Pomiar krytyczności sekwencji pomiarowych stosowanych przy ocenie subiektywnej

Większość sekwencji ma wartość zmierzoną krytyczności os 0,8 do 1,4 bita/piksel. Kilka sekwencji ma duże odchylenie standardowe ponieważ treść obrazu zmienia się znacząco podczas sekwencji.

- *Krok 2:* Pomiar rozkładu krytyczności sekwencji pomiarowych stosowanych przy ocenie subiektywnej programów emitowanych

Rozkład krytyczności emitowanych programów telewizyjnych mierzy się w długim okresie czasu, np. jednego tygodnia.

- *Krok 3:* Przeprowadzenie oceny subiektywnej jakości obrazu badanego systemu i określenie relacji wzajemnych między krytycznością a subiektywną jakością obrazu

Jakość obrazu telewizji cyfrowej jest szacowana metodą DSCQS. Przez połączenie wyników oceny subiektywnej i krytyczności otrzymanej w Kroku 1, otrzymuje się zależność między krytycznością i wynikami oceny.

- *Krok 4:* Utworzenie charakterystyk strat treści obrazu (jakość vs. częstotliwość występowania) przez połączenie wyników Kroku 3 (krytyczność vs. jakość) i Kroku 2 (krytyczność vs. częstotliwość występowania)

Przez połączenie wyników otrzymanych w Kroku 2 i 3, wyznacza się charakterystyki strat treści obrazu, tzn. rozkładu jakości obrazu telewizyjnego programów cyfrowych. Pogorszenie obrazu programów telewizji rozsiewczej jest przetworzone na łączną częstotliwość występowania.

3.9. Wybór metody badań i jej podstawowych parametrów

3.9.1. Omówienie ogólne

Przy ocenie działania systemów telewizji cyfrowej w sposób ściśle związany z przewidywaną reakcją widzów obserwujących przesyłane obrazy metody subiektywne zapewniają większą dokładność pomiarów. Przyjęto, że pomiary jakości obrazów kodowanych według standardów MPEG-2 i standardu H264/AVC zostaną przeprowadzone metodą subiektywnej oceny jakości obrazu.

Z powodu trudności z uzyskaniem obrazu odniesienia jednoczesnego z obrazem ocenianym, mimo większej dokładności metody dwubodźcowe, wybrano metodę

jednobodźcową. Zastosowanie nowoczesnych technik zapisywania obrazów w powiązaniu z regulowanym opóźnieniem pozwoli w przyszłości na przygotowanie stanowiska do badań porównawczych.

3.9.2. Parametry wybranej metody

3.9.2.1. Warunki obserwacji

Ocena subiektywna, w tym sposób prezentacji obrazu, kolejność ich wyświetlania powinna być tak zorganizowana, by zminimalizować wpływ wszelkich czynników zmniejszających obiektywność ocen (efekt uczenia, skojarzenie podobieństwa, sugestie innych oceniających).

Przyjęto, że badania będą wykonywane wyłącznie w warunkach laboratoryjnych. Warunki laboratoryjne umożliwiają ocenę mierzonego systemu w warunkach krytycznych. Przyjęte specyficzne warunki obserwacji przy ocenie subiektywnej obrazów TV cyfrowej w warunkach laboratoryjnych przedstawiono w Tablicy 3.3.

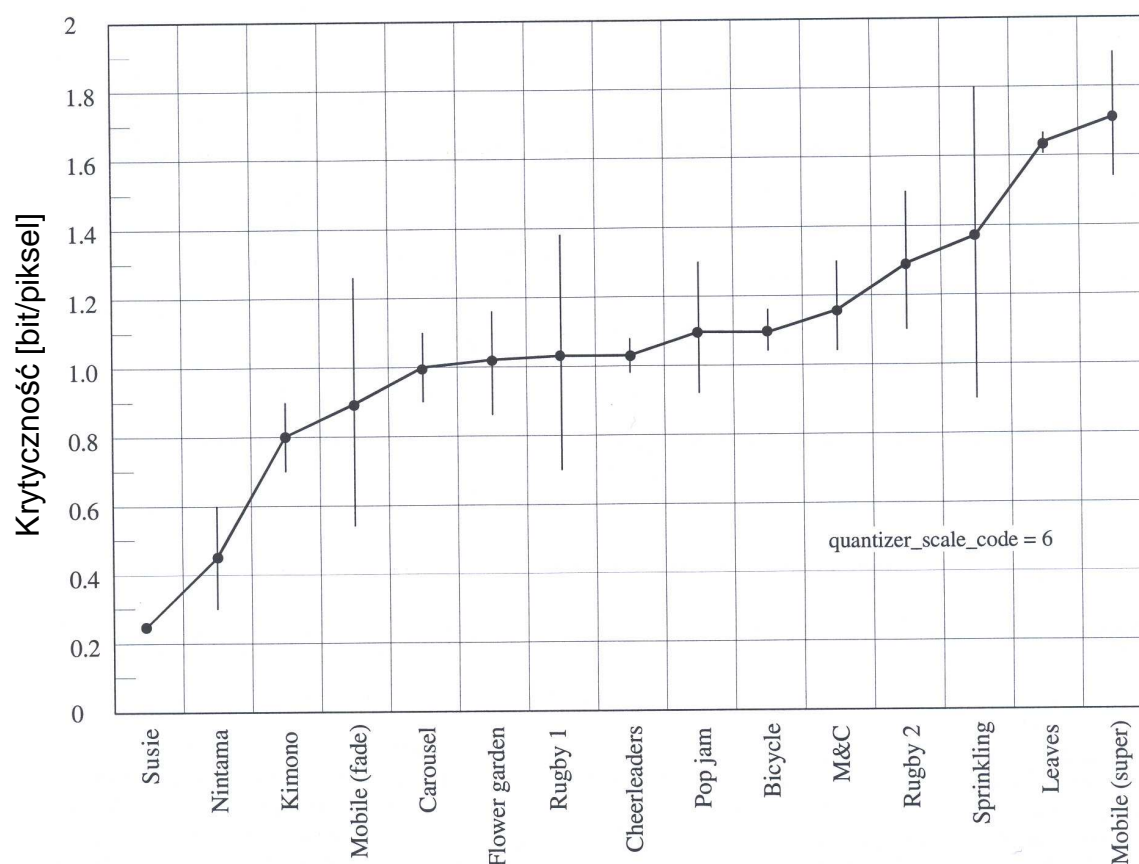
Tablica 3.3

Przyjęte specyficzne warunki obserwacji w przypadku ocen subiektywnych obrazów systemów telewizji cyfrowych dokonywanych w warunkach laboratoryjnych

Warunek	Opis	Wartości
a	Stosunek odległości obserwacji do wysokości obrazu telewizyjnego	$6 H$
b	Wartość szczytowa luminancji	70 cd/m^2
c	Kąt obserwacji odpowiadający tej części tła, która jest zgodna z wymaganiami	$\geq 43^\circ H \times 57^\circ W$
d	Obraz	Wysokiej jakości. Rozmiar $\geq 20''$ (50 cm)

3.9.2.2. Wybór obrazów

Wyniki oceny obrazu zależą w dużym stopniu od treści danego obrazu. Do oceny jakości obrazu jest korzystne wybranie obrazów zawierających dużo szczegółów i obrazów o złożonym ruchu. Obrazy te nazwane są obrazami krytycznymi. Zgodnie z zaleceniem ITU R BT.1129-2. wybrano 15 obrazów testowych których wartości średnie krytyczności i odchylenie standardowe krytyczności są przedstawione na rys. 3.1. Obrazy będą nadawane w przypadkowej kolejności.



Rys. 3.1 Wartości średnie i standardowe odchylenie sekwencji pomiarowych

3.9.2.3. Wybór obserwatorów

Dokładna liczba obserwatorów wymagana dla danego pomiaru zależy od wrażliwości i niezawodności przyjętej procedury pomiarowej i przewidywanych rozmiarów oczekiwanych wyników.

Zgodnie z Zaleceniem ITU-R BT 500-11 pomiary subiektywne, dla wybranej metody pomiarowej, powinny być przeprowadzane przez co najmniej 15 obserwatorów. Oceniający nie powinni być ekspertami w dziedzinie telewizji tzn. nie powinni zajmować się jakością obrazu telewizyjnego podczas swojej codziennej pracy. Przed przeprowadzeniem pomiarów należy sprawdzić ostrość wzroku obserwatorów oraz rozróżnianie przez nich kolorów.

Przed przystąpieniem do pomiarów obserwatorzy powinni być dokładnie poinformowani o stosowanej metodzie oceny subiektywnej, występujących zniekształceniach i zakłóceniach, stosowanej skali ocen, oraz przebiegiem pomiarów. Należy również przeprowadzić wstępną, objaśniającą sesję pomiarową przy wykorzystaniu innych obrazów kontrolnych niż stosowane w czasie pomiarów, ale o podobnej krytyczności.

Biorąc pod uwagę możliwości lokalowe oraz rozmieszczanie obserwatorów zgodnie z wymaganymi warunkami obserwacji przewiduje się przeprowadzenie pomiarów w 3 grupach 5-cio osobowych. Określone warunki pomiaru muszą być więc powtarzane co najmniej trzykrotnie.

3.9.2.4. Skala ocen

Dla bezpośredniej oceny jakości obrazu przyjęto pięciostopniową skalę ocen:

- 5 Bardzo dobra
- 4 Dobra
- 3 Dostateczna
- 2 Mierna
- 1 Zła

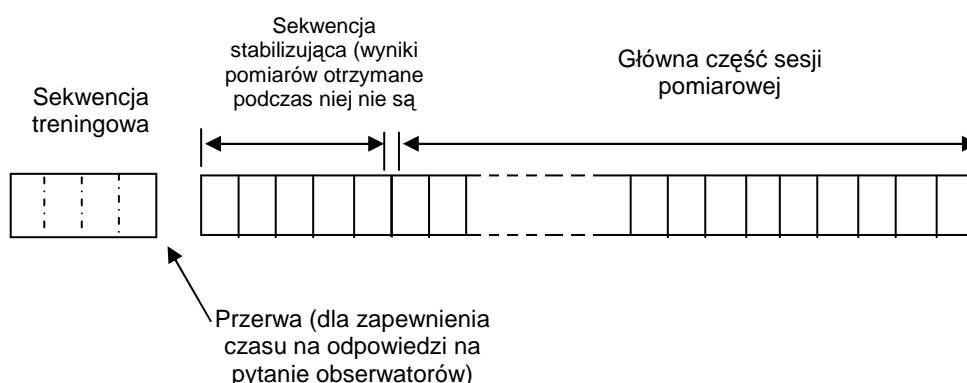
3.9.2.5. Sesja pomiarowa

Sesja pomiarowa nie będzie trwała dłużej niż pół godziny. Na początku każdej sesji zostanie przeprowadzona tzw. „wstępna prezentacja”, aby przystosować się obserwatorom do właściwej oceny w tej sesji. Wyniki tej prezentacji nie są uwzględniane przy obliczaniu ostatecznych wyników pomiarów. Jeśli przeprowadza się wiele sesji pomiarowych zakłada się przeprowadzenie trzech fikcyjnych prezentacji na początku każdej z następnych sesji.

Zarówno obrazy kontrolne jak i zakłócenia będą wprowadzane w sposób przypadkowy. W następnych sesjach dla kolejnych grup obserwatorów będzie stosowana taka sama kolejność obrazów kontrolnych, takie same warunki obserwacji i taka sama skala ocen.

Strukturę sesji pomiarowej podano na rys. 3.2, ustalono w każdej sesji zastanie nadana sekwencja zawierająca 10 obrazów w następującej kolejności:

- na początku sekwencji obraz zawierający parametry nadawania,
- dla każdego obrazu
 - tytuł obrazu - 5 sek.,
 - poziom szary - 3 sek.,
 - oceniany obraz - 30 sek.,
 - poziom szary (przerwa i czas na ocenę) - 20 sek.,



Rys. 3.2 Struktura sesji pomiarowej

3.9.2.6. Analiza wyników

Zbór otrzymanych wyników zostanie poddany analizie statystycznej polegającej na wyznaczeniu wartości średniej wybranych ocen, tzn. oceny średnie oraz wariancje zbiory tych ocen.

3.9.2.7. Przedstawienie wyników

Rezultaty badań poza uzyskanymi wynikami pomiarów będą zawierały następujące informacje:

- Szczegółowy opis układu pomiarowego

- Szczegółowy opis stosowanych obrazów kontrolnych
- Liczba i dane dotyczące obserwatorów
- Wartość średnia danego pomiaru
- Początkową i wtórną (tj. po odrzuceniu najbardziej odbiegających ocen) ocena średnia oraz 90% margines pewności.

3.10. Podsumowanie

Wyniki pracy stanowią podstawy techniczne do przeprowadzenia formalnych badań weryfikacyjnych porównawczych wydajności kodowania w standardach MPEG2 i AVC/H264, które są przewidziane w 2007r. Badania zostaną przeprowadzone zgodnie z opracowaną metodą i procedurą. Obserwatorami będą pracownicy CLB. Omówiona metoda i opracowana procedura umożliwiają również wykonanie badań jakości obrazów kodowanych według innych standardów kodowania.

3.11. Wykaz literatury

- [1] ISO/IEC 11172-2:1993 Information technology -- Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s -- Part 2: Video
- [2] ISO/IEC 13818-2:2000 Information technology -- Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video
- [3] ISO/IEC 14496-2:2004 Information technology -- Coding of audio-visual objects -- Part 2: Visual
- [4] ISO/IEC 14496-10:2005 Information technology -- Coding of audio-visual objects -- Part 10: Advanced Video Coding
- [5] ITU-R BT.500-11:2002 Subjective assessment of standard definition digital television (SDTV) systems
- [6] ITU-R BT.1129-2:1998 Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures
- [7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 JVT Test and Video Group. Report on the Formal Verification Test on AVC; 2003

4. Analiza warunków budowy sieci ogólnokrajowych i/lub regionalnych DRM w zakresie MF

4.1 Wstęp

Prace dotyczące przygotowania podstaw planowania sieci radiofonicznych w zakresach fal długi i średnich są prowadzone w Zakładzie Systemów Radiowych Instytutu Łączności od kilku lat. Zajmowanie się tą tematyką ma bezpośredni związek z pojawieniem się możliwości wprowadzenia w zakresach częstotliwości poniżej 30 MHz cyfrowego systemu radiofonicznego nazywanego "Digital Radio Mondiale", lub krótko "DRM".

Niniejsze opracowanie ma na celu pogłębienie wiedzy na temat systemu DRM i planowania sieci pracujących w tym systemie. Stanowi uzupełnienie wcześniejszych prac wykonanych przez Instytut Łączności i Politechnikę Warszawską.

W pierwszej części rozdziału opisano wybrane zagadnienia techniczne dotyczące systemu DRM i wymagania dotyczące poszczególnych trybów pracy:

W części drugiej przeprowadzono analizy możliwości pokrycia terytorium Polski programami nadawanymi w systemie DRM, w celu weryfikacji bardzo optymistycznych prognoz zasięgów przedstawionych na mapach zamieszczonych w dokumencie "Analiza możliwości cyfryzacji radiofonii w zakresach częstotliwości poniżej 30 MHz w Polsce" opublikowanym przez Urząd Regulacji Telekomunikacji i Poczty w 2005 r. Prace te wykonano korzystając z programu AnaZas opracowanego w latach ubiegłych w Zakładzie Systemów Radiowych Instytutu Łączności w ramach działalności statutowej.

4.2 Wprowadzenie

W zakresach częstotliwości poniżej 30 MHz na falach długich (LF)^{/1}, średnich (MF) i krótkich (HF) nadal stosuje się głównie analogową dwuwstęgową modulację amplitudową (DSB AM). Jakość odbioru tych emisji z wielu powodów: zjawisk propagacyjnych, charakterystyk odbiorników i innych, jest znacznie gorsza w porównaniu z jakością odbioru uzyskiwaną na falach ultrakrótkich (VHF) i nie spełnia wymagań słuchaczy dotyczących jakości odbioru programów radiofonicznych. Na

^{/1} Słownik użytych akronimów znajduje się na końcu opracowania.

skutek tego, mimo możliwości uzyskania dużych zasięgów, liczba stacji pracujących w zakresach LF, MF i HF systematycznie maleje. Jednocześnie wiele wniosków o przydział częstotliwości w paśmie fal ultrakrótkich (VHF) nie może być rozpatrzonych pozytywnie ze względu na brak wolnych kanałów. Nadzieję na przywrócenie zainteresowania emisją programów radiofonicznych w zakresach częstotliwości poniżej 30 MHz, w których wcześniej używano lub planowano stacje pracujące z modulacją amplitudową, jest zastąpienie analogowej emisji AM emisją w systemie cyfrowym DRM.

4.2.1 Wymagania ogólne odnośnie systemu cyfrowego

Ponieważ zaawansowane techniki przetwarzania sygnałów i modulacji cyfrowych umożliwiają uzyskanie lepszego wykorzystania pasma, większej odporności na zakłócenia propagacyjne i większego zasięgu, niż konwencjonalna modulacja amplitudowa, eksperci ITU uznali konieczność opracowania standardu radiofonii cyfrowej przeznaczonego do stosowania w zakresach częstotliwości poniżej 30 MHz. Ogólne wymagania odnośnie funkcji tego systemu zestawiono w zaleceniu ITU-R BS.1348. Do wymagań obowiązkowych (mandatory) zaliczono:

- a. poprawę jakości odbioru sygnału akustycznego w porównaniu z systemem analogowym;
- b. zgodność z zaleceniami ITU-R odnośnie szerokości pasma kanału RF i odstępów międzykanałowych;
- c. ustanowienie jednego standardu takiego, aby cyfrowy odbiornik radiofoniczny mógł pracować na całym świecie;
- d. możliwość stopniowego przejścia od nadawania analogowego do cyfrowego w sposób umożliwiający czasowe współużytkowanie tego samego kanału przez emisje cyfrową i analogową;
- e. nie powodowanie zakłóceń odbioru większych niż równoważna modulacja amplitudowa;
- f. podatność cyfrowego odbiornika na zakłócenia nie większą niż odbiornika modulacji amplitudowej;
- g. zwiększenie niezawodności odbioru (procentu czasu, w którym odbiór ma zadawalającą jakość);
- h. znaczącą redukcję podatności na skutki zaników sygnału;

- i. automatyczne przełączanie odbiornika częstotliwości na inne częstotliwości, na których nadawany jest ten sam program;
- j. szybkie dostrajanie;
- k. uzyskanie obszaru pokrycia nie mniejszego niż uzyskiwany przy stosowaniu AM;
- l. odbiór za pomocą urządzeń stacjonarnych, instalowanych w pojazdach i noszonych;
- m. dobry odbiór wewnątrz pomieszczeń;
- n. możliwość wykorzystanie istniejących nowoczesnych nadajników AM;
- o. poziom emisji niepożądanych i pozapasmowych nadajnika zgodny z przepisami ITU;
- p. możliwość budowy taniego odbiornika mimo znacznej złożoności systemu.

Charakterystyki dwóch cyfrowych systemów radiofonicznych, spełniających wymagania zdefiniowane w zaleceniu BS.1348, nazywanych: DRM (Digital Radio Mondiale) i IBOC-DSB przedstawiono w zaleceniu ITU-R BS.1514. Przy tym ze względu na różne właściwości propagacyjne zróżnicowano wymagania względem systemu przeznaczonego do stosowania w pasmach HF pomiędzy 3 MHz i 30 MHz od wymagań dotyczących systemu przeznaczonego do stosowania w pasmach radiofonicznych poniżej 3 MHz.

Biorąc pod uwagę preferencje europejskich organizacji normalizacyjnych² w niniejszym opracowaniu omawiane są tylko właściwości systemu DRM.

System DRM został zaprojektowany do stosowania w kanałach o szerokości 9 kHz (stosowanych w zakresach LF i MF) oraz w kanałach o szerokości 10 kHz stosowanych w zakresach HF lub w kanałach o szerokości, która jest odpowiednio połową lub wielokrotnością 9 kHz lub 10 kHz. Przepływność dostępna dla przesyłania kodowanego sygnału akustycznego, wykrywania i korekcji błędów transmisji oraz dla danych zależy od szerokości kanału radiowego, przeznaczenia (wykorzystanie fali przyziemnej lub jonosferycznej).

² Publikacje ETSI dotyczące systemu DRM są tworzone przez wspólny komitet techniczny (Joint Technical Committee, JTC) trzech instytucji: European Broadcasting Union (EBU), European Telecommunications Standards Institute (ETSI), Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC).

4.2.2 Porównanie właściwości systemu AM i DRM

W przypadku analogowej transmisji AM zakłócenia propagacyjne takie jak zanik wielodrogowy, szum, zakłócenia wspólnokanałowe i sąsiednikanałowe powodują słyszalne pogorszenie jakości odbioru. Transmisja w systemie DRM jest mniej podatna na tego rodzaju zakłócenia.

Szerokość pasma sygnałów akustycznych transmisji AM DSB jest mniejsza niż połowa szerokości kanału radiowego, zatem $< 4,5$ kHz w przypadku emisji na falach średnich. Jeżeli uwzględnić rzeczywistą szerokość pasma filtrów stosowanych w odbiorniku, to typowa szerokość pasma sygnału akustycznego odbieranego za pomocą odbiornika AM wynosi ok. 2,4 kHz. W systemie cyfrowym stosowane są algorytmy kodowania, które umożliwiają przezwyciężenie tych ograniczeń.

W przypadku emisji DSB AM główny składnik emitowanej mocy stanowi fala nośna. W systemie cyfrowym fala nośna jest zbędna i może być wytłumiana. Dzięki temu emisja stacji nie zawiera tylko składowe istotne dla przesyłanych informacji.

W systemie cyfrowym dane dotyczące programu, takie jak nazwa nadawcy / programu, lista alternatywnych częstotliwości, mogą być łatwo dołączone. Również możliwa jest transmisja innych informacji, nie odnoszących się do programu, takich jak wiadomości tekstowe, nieruchome obrazy. Cechy te pozwalają zautomatyzować niektóre funkcje odbiornika.

W systemie cyfrowym jest możliwa emisja tego samego programu przez wiele stacji na wspólnej częstotliwości (Single Frequency Network, SFN).

Aby ułatwić wdrażanie systemu DRM w okresie przejściowym jest możliwa równoczesna emisja (simulcast) cyfrowa i analogowa w tym samym kanale o szerokości 9 kHz (10 kHz).

Stopniowe przejście z emisji analogowej na cyfrową może również polegać na emisji przez tę samą stację w sąsiednich kanałach sygnału analogowego i cyfrowego (multicast).

Oprócz znamionowej szerokości pasma 9 kHz (10 kHz) w systemie możliwe jest stosowanie kanałów połówkowych 4,5 kHz (5 kHz) w celu umożliwienia równoczesnej emisji AM, lub podwójnych 18 kHz (20 kHz). Kompromis pomiędzy pojemnością kanału a odpornością na szum i zakłócenia propagacyjne

(wielodrogowość, efekt Dopplera) jest osiągany przez wybór modulacji OFDM i sprawności kodu. Typowa przepływność w kanale 9 kHz (10 kHz) wynosi 20-24 kbit/s.

4.2.3 Opis systemu DRM

System DRM zaprojektowano do stosowania na dowolnej częstotliwości poniżej 30 MHz, z możliwością używania różnych odstępów międzykanałowych, w różnych warunkach propagacyjnych. W celu dostosowania do warunków pracy zdefiniowano różne tryby nadawania, klasyfikowane na podstawie:

- parametrów odnoszących się do szerokości pasma sygnału,
- parametrów odnoszących się do efektywności transmisji.

Pierwsza grupa parametrów charakteryzuje całkowitą szerokość pasma dla pojedynczej transmisji. Parametry odnoszące się do efektywności pozwalają osiągnąć kompromis pomiędzy pojemnością (użyteczną szybkością transmisji), a odpornością na szum, wielodrogowość i efekt Dopplera.

Schemat blokowy nadajnika przedstawiono na Rys. 4.1. Informacje w postaci cyfrowej przesyłane w systemie należą do dwóch klas:

- kodowany sygnał akustyczny (audio) oraz dane są razem multipleksowane tworząc kanał usługi głównej systemu (Main Service Channel, MSC);
- poza multipleksowanym strumieniem danych dodawane są kanały: szybkiego dostępu (Fast Access Channel, FAC) oraz kanał opisujący usługę (Service Description Channel, SDC).

Zatem tzw. multipleks DRM tworzą trzy kanały logiczne:

- kanał usługi głównej (Main Service Channel, MSC),
- kanał szybkiego dostępu (Fast Access Channel, FAC),
- kanał opisu usługi (Service Description Channel, SDC).

Multipleks DRM może zawierać do czterech strumieni MSC, z których każdy przenosi informacje audio lub usługę danych.

Jednostka danych SDC może odnosić się do:

- jednego strumienia audio,

- jednego strumienia danych (lub jednego "podstrumienia" danych, jeżeli strumień jest przesyłany w trybie pakietowym),
- jednego strumienia audio i jednego strumienia (lub jednego podstrumienia) danych towarzyszących programowi.

Koder sygnałów audio i koder danych zapewniają dostosowanie wejściowych strumieni danych do wymaganego formatu. Ich sygnały wyjściowe mogą składać się z dwóch części wymagających różnego stopnia ochrony podczas transmisji.

Bloki rozpraszania energii (energy dispersal) modyfikują strumienie bitów w sposób deterministyczny w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa występowania regularnych wzorów bitowych skutkujących powtarzalnością występowania składowych widma. Koder kanałowy dodaje informacje nadmiarowe przeznaczone dla korekcji błędów oraz określa sposób odwzorowania kodowanej informacji w symbolach QAM. W wyniku przeplotu kolejne symbole QAM są rozpraszane w sposób pseudo przypadkowy w ciągu symboli tak, że na wyjściu kodera pojawiają się na różnych częstotliwościach w różnych momentach.

Generator sygnałów pilota dodaje informacje, które umożliwiają oszacowanie charakterystyk kanału radiowego w układzie odbiornika i koherentną demodulację odbieranego sygnału.

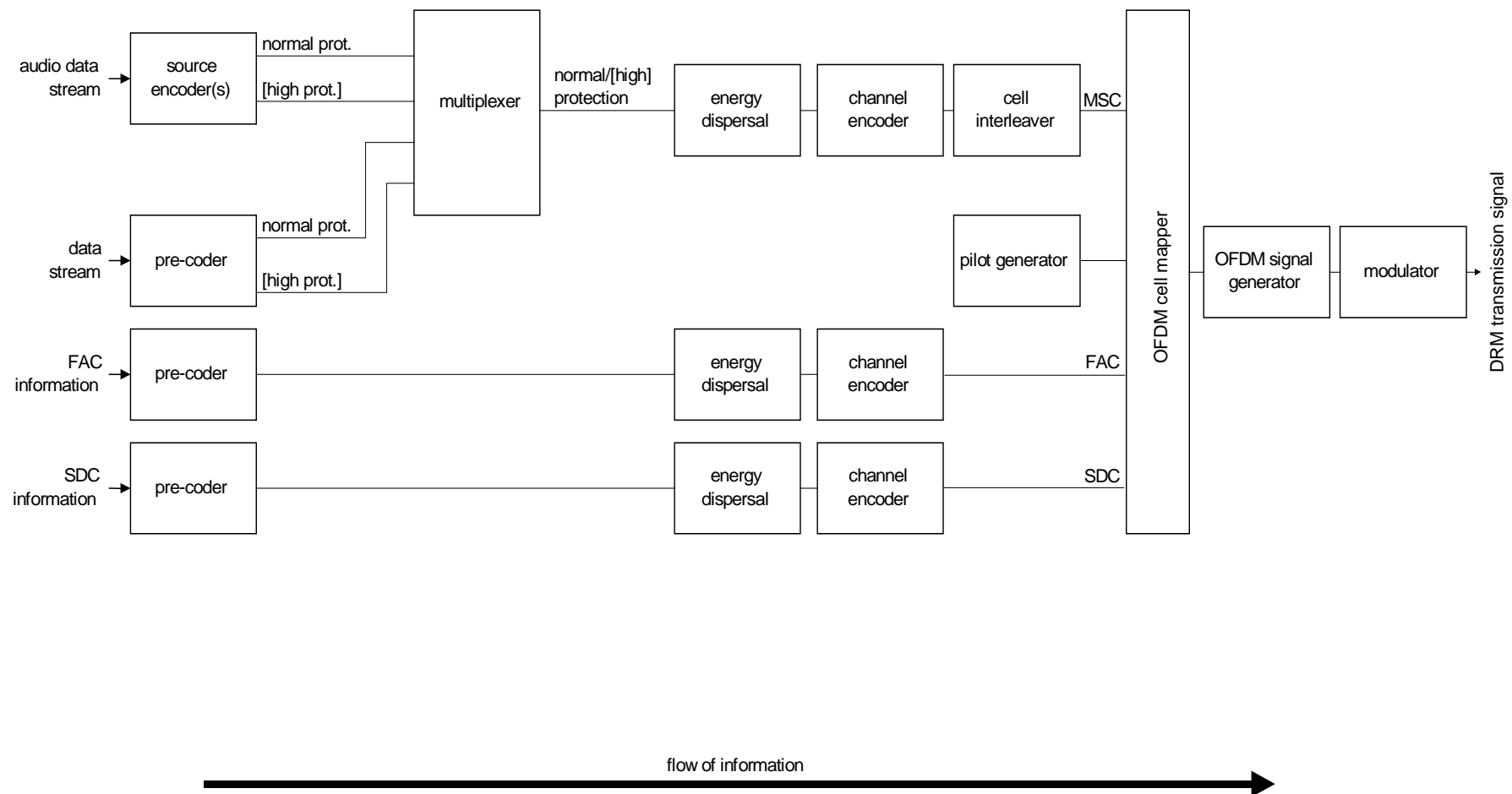
OFDM mapper i generator odwzorowują symbole informacji w zbiorze wielu podnośnych.

Modulator przekształca cyfrowy sygnał OFDM w sygnał analogowy, który może być nadawany w kanale radiowym. Proces ten składa się z przetwarzania sygnału cyfrowego na analogowy, przemiany częstotliwości oraz filtrowania widma sygnału.

DRM zaprojektowano w ten sposób, że umożliwia przesyłanie danych, które odnoszą się do usług(i) audio lub są autonomicznymi usługami danych. W przypadku autonomicznych usług danych FAC obejmuje pole identyfikatora aplikacji, które umożliwia odbiornikom przeszukiwanie pasma częstotliwości w celu znalezienia żądanej usługi.

Identyfikator aplikacji umożliwia odbiornikowi skanującemu kanały radiowe szybkie zdecydowanie, czy aplikacja jest użyteczna, a jeżeli nie na kontynuację skanowania.

Identyfikator aplikacji odnosi się tylko do autonomicznych usług danych, nie dotyczy aplikacji danych przesyłanych wraz z usługami audio.



Rys. 4.1: Schemat blokowy ilustrujący przepływ informacji w torze nadawczym DRM

Interpretacje pola identyfikacji aplikacji przedstawiono w Tabl. 4.1.

Tabl. 4.1: Identyfikacja aplikacji FAC

Liczba dziesiętna	Identyfikator aplikacji
0	Aplikacja sygnalizowana tylko w SDC
1 do 30	Zarezerwowane do dalszego zdefiniowania
31	Wskaźnik pominięcia
Uwaga 1. Wartość 0 powinna być używana dla aplikacji firmowych (własnych).	
Uwaga 2. Wskaźnik pominięcia wprowadzono, aby umożliwić ignorowanie przez standardowe odbiorniki transmisji testowych.	

W SDC w przypadku wszystkich aplikacji danych informacja o aplikacji – powinna być kodowana zgodnie z normami ETSI ogólną ES 201 980 i szczegółową ETSI TS 101 986.

Jednostki danych SDC zawierają różne pola, których interpretację podano w dokumencie ETSI TS 101 968.

Jeżeli nowe aplikacje danych zostaną zdefiniowane i znormalizowane przez konsorcjum DRM, odpowiednie dokumenty ETSI będą podlegać rewizji.

Transport danych w DRM może polegać na przesyłaniu strumieni danych lub obiektów (plików).

Przesyłanie strumieni ma trzy warianty:

- tryb strumienia synchronicznego,
- tryb strumienia asynchronicznego,
- tryb asynchronicznej jednostki danych.

Strumień synchroniczny całkowicie wypełnia strumień danych DRM. W związku z tym przepływność jest ustalana do czasu następnej rekonfiguracji multipleksu. W tym trybie, jeżeli nie ma danych do wysłania, koder multipleksu powinien nadawać bity 0.

W obu trybach asynchronicznych jest możliwy transport danych z różnymi szybkościami. Ilekroć nowe dane są dostępne po stronie nadawczej będą przesyłane do dekodera odbiornika DRM.

W trybie strumienia asynchronicznego dane są rozgłaszane ze zmienną szybkością. Zaletą tego trybu jest mały nadmiar kodowy i małe opóźnienie.

W trybie asynchronicznej jednostki danych dane są również rozgłaszane ze zmienną szybkością. Jednakże w odróżnieniu od asynchronicznego strumienia można zapewnić przesyłanie koherentnych "porcji" danych, które albo zostaną odebrane, albo utracone. Prawdopodobieństwo odbioru można zwiększyć stosując powtórzenie jednostki danych.

Dla potrzeb transportu plików (obiektów) w DRM zastosowano protokół DAB MOT (wg EN 301 234).

Protokół MOT (Multimedia Object Transfer) umożliwia przesyłanie plików o skończonych rozmiarach, do 256 Mbajtów, od nadawcy do odbiornika. Oprócz danych użytkowych (np. samego pliku) mogą być rozgłaszane dane organizacyjne, takie jak nazwa pliku, rozmiar pliku, rodzaj zawartości itp.

Przed przesłaniem obiektu tworzony jest nagłówek MOT zawierający (opisujący) zawartość MOT (np. plik). Następnie nagłówek i zawartość MOT są segmentowane w pakiety o rozmiarach dostosowanych do możliwości kanału DRM.

Biorąc pod uwagę ograniczenia wynikające z Regulaminu Radiokomunikacyjnego i parametry stosowanych metod kodowania i modulacji przyjęto, że szybkość transmisji dostępna dla kodowania źródła jest w granicach od 8 kbit/s (kanały połówkowe) do ok. 20 kbit/s w kanałach o standardowej szerokości i do ok. 72 kbit/s w kanałach o podwójnej szerokości.

Ponieważ szerokość pasma kanałów radiofonicznych w zakresach częstotliwości do 30 MHz wynoszą 9 kHz lub 10 kHz system DRM zaprojektowano do stosowania w kanałach o szerokości:

- znamionowej 9 kHz lub 10 kHz dostosowanych do obowiązujących zasad planowania sieci w tych zakresach częstotliwości;
- połówkowej (odpowiednio 4,5 kHz lub 5 kHz), aby umożliwić jednoczesne nadawanie analogowych sygnałów AM;
- podwójnej (18 kHz lub 20 kHz), dostosowanej do większych szybkości transmisji, do wykorzystania w przyszłości gdy i gdzie będzie to możliwe.

Szerokości pasma i efektywności dotyczą takie parametry jak:

- sprawność kodowania (coding rate) i konstelacja modulacji (constellation) np. 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM,
- parametry symbolu OFDM uzależnione od warunków propagacji.

Biorąc pod uwagę zróżnicowanie charakterystyk kanałów radiowych w zakresach LF, MF i HF zdefiniowano cztery tryby transmisji DRM, o różnej odporności na zakłócenia kanałowe, por. Tab. 4.2.

Tab. 4.2: Tryby odporności transmisji DRM

Tryb odporności	Typowe warunki propagacji
A	Kanały Gaussa, ze słabym zanikiem selektywnym
B	Kanały z selektywnym zanikiem w dziedzinie czasu i częstotliwości, z dłuższym rozrzutem opóźnień
C	Odporność jak w trybie B, ale z większym wpływem efektu Dopplera
D	Odporność jak w trybie C, ale ze znacznym wpływem efektu Dopplera i opóźnieniami

Tryb A jest najbardziej odpowiedni do stosowania w kanałach z falą przyziemną na falach długich i średnich oraz górnej części pasma fal krótkich (> 26 MHz).

Tryb B jest najbardziej odpowiedni do stosowania w przypadkach występowania fali jonosferycznej w kanałach na falach średnich i krótkich.

Tryby C i D są przeznaczone do stosowania wyłącznie w kanałach na falach krótkich.

4.2.4 Kodowanie sygnałów akustycznych

Aby uzyskać optymalną jakość dźwięku przy danej szybkości transmisji w systemie zdefiniowano różne metody kodowania (kompresji) danych źródłowych:

- MPEG-4 AAC kodowanie ze zwiększoną odpornością na błędy transmisji, przeznaczone ogólnie dla transmisji radiofonicznych mono- i stereofonicznych;

- MPEG-4 CELP kodowanie mowy dla odpornej na błędy transmisji monofonicznej, do stosowania w przypadkach, gdy dostępne jest wąskie pasmo (mała szybkość transmisji) i wymagana jest duża odporność na błędy;
- MPEG-4 HVXC kodowanie mowy o bardzo małej szybkości, do stosowania w przypadkach, gdy możliwa jest tylko bardzo mała szybkość transmisji, przeznaczone dla odpornej na błędy monofonicznej transmisji mowy, zwłaszcza dla aplikacji typu głosowe bazy danych;
- SBR metoda kodowania, która poprawia subiektywną ocenę jakości dźwięku transmitowanego w kanałach wąskopasmowych. Wykorzystując technikę odtwarzania informacji o energii wyższych częstotliwości pasma akustycznego pozwala uzyskać wrażenia pełnej szerokości pasma akustycznego przy małej szybkości transmisji. Może być stosowane z AAC, CELP i HVXC;
- PS (Parametric Stereo) parametryczne stereo, rozszerzenie kodowania audio odnoszące się do SBR, które umożliwia uzyskanie kodowanego sygnału stereofonicznego przy małej szybkości transmisji;

Szybkość bitowa kodowania MPEG AAC w systemie DRM może być dowolna, jednak ze względu na dopasowanie do długości superramki 400 ms najmniejszą jednostką jest 20 bit/s. Dopuszcza się szybkości próbkowania: 12 kHz lub 24 kHz. 5 ramek (12 kHz) lub 10 ramek (24 kHz) tworzy jedną superramkę, która zawsze ma czas trwania 400 ms. Długość transformaty: 960 co zapewnia, że długość ramki audio odpowiada 80 ms lub 40 ms. Ta długość ramki jest zgodna z długością ramki CELP, co umożliwia ich kombinację tych sposobów kodowania w jednej superramce.

Kodowanie MPEG CELP w systemie DRM umożliwia uzyskanie zadowalającej jakości mowy przy małej szybkości transmisji. To pozwala na korzystanie z 2 lub 3 kanałów mowy zamiast jednego programu 20 kbit/s lub 24 kbit/s, albo usługi mowy jako dodatkowej audio, także np. przy transmisji jednoczesnej (simulcast) tylko małe przepływności (8 kbit/s) mogą być możliwe.

Ponadto kodowanie mowy 8 kbit/s wraz z silnym zabezpieczeniem kodowym może być stosowane dla uzyskania szczególnie odpornego systemu transmisji.

Podstawowe parametry CELP:

- szybkość próbkowania 8 kHz lub 12 kHz,
- szybkość transmisji 4 kbit/s do 20 kbit/s,

- odporność na błędy,
- składanie całkowitej liczby ramek CELP dla zbudowania jednej superramki.

Kodowanie MPEG HVXC umożliwia uzyskanie zadowalającej jakości mowy przy bardzo małej szybkości transmisji rzędu 2 kbit/s. Wykorzystanie HVXC stwarza możliwość nowych aplikacji DRM:

- mowa dodana do audio,
- transmisja w kilku językach,
- zapis i przechowywanie wielu programów, takich jak wiadomości, w odbiorniku,
- modyfikacja skali czasu do szybkiego odtworzenia / przesłuchania zapisanego programu, parametry HVXC,
- częstotliwość próbkowania 8 kHz,
- szybkość bitowa 2 kbit/s i 4 kbit/s,
- złożenie 20 ramek HVXC tworzy jedną superramkę.

Klasyczne algorytmy kodowania źródłowego sygnałów akustycznych wymagają odpowiedniego ograniczenia szerokości pasma sygnału przed próbkowaniem z daną szybkością. Kodowanie SBR umożliwia odtworzenie utraconej części widma, która nie może być kodowana. Ta dodatkowa informacja o sygnale z pełnym pasmem powinna być utworzona przed jego kodowaniem i przesłana w celu rekonstrukcji składowych sygnału po dekodowaniu.

Idea kodowania sygnału stereofonicznego (PS) jest podobna do SBR. Celem jest przesłanie stereofonicznego "obrazu" dźwięku wraz ze zmiksowanym sygnałem monofonicznym. Informacje stereofoniczne nie wymagają dużej przepływności.

Jak wspomniano wcześniej sygnał DRM zawiera trzy kanały logiczne:

- Main Service Channel (MSC), kanał usługi^{/3} głównej zawiera dane wszystkich usług multipleksu DRM. Multipleks może składać się z jednej do 4 usług. Usługą może być program radiofoniczny (audio) lub dane. Przepływność brutto zależy od szerokości kanału radiowego DRM i trybu transmisji.

MSC obejmuje od jednego do 4 strumieni, każdy strumień jest dzielony na logiczne ramki o długości 400 ms. Strumienie audio zawierają skompresowany dźwięk i opcjonalnie mogą przenosić wiadomości tekstowe. Strumienie danych mogą zawierać

^{/3} "Usługa" (service) w sensie rozgłaszanie określonego programu radiofonicznego – programu określonego nadawcy, lub danych.

do 4 podstrumieni pakietów. Podstrumień służy do przesyłania pakietów jednej usługi. Usługa audio obejmuje jeden strumień audio i opcjonalnie jeden strumień lub podstrumień danych. Usługa danych obejmuje jeden strumień danych lub podstrumień danych.

Zwykle każda ramka MSC składa się z dwóch części, z których każda jest osobno zabezpieczona.

Szczegółowy opis MSC znajduje się w specyfikacji ETSI ES 201 980 rozdz. 6.

- Fast Access Channel (FAC), kanał szybkiego dostępu dostarcza informacje takie jak szerokość kanału radiowego inne parametry transmisji i informacje do szybkiego skanowania umożliwiające wybór usługi.
- Service Description Channel (SDC), kanał opisu usługi podaje informacje o konfiguracji multipleksu zatem informuje jak dekodować MSC, jak znaleźć alternatywne źródła tych samych danych i podaje atrybuty usług w multipleksie. Może zawierać odniesienia do nadawanych jednocześnie analogowych.

Szczegółowy opis kodowania kanałowego znajduje się w specyfikacji ETSI ES 201 980 rozdz. 7.

Trzy kanały DRM, tj. MSC, SDC i FAC są w niezależnie i w różny sposób kodowane i odwzorowywane w symbole OFDM dla potrzeb transmisji radiowej. Stosuje się trzy rodzaje modulacji nośnych OFDM: 4-QAM, 16-QAM lub 64-QAM. Konstelacje odwzorowujące kombinacje bitowe są normalizowane w celu uzyskania jednakowej mocy średniej (współczynnik α), jak następuje:

- 4-QAM, $\alpha = 1/\sqrt{2}$ (modulacja fazowa i jeden poziom amplitudy)
- 16-QAM, $\alpha = 1/\sqrt{10}$ (modulacja fazowa i dwa poziomy amplitudy)
- 64-QAM, $\alpha = 1/\sqrt{42}$ (modulacja fazowa i trzy poziomy amplitudy)

W przypadku kanału MSC są stosowane: 16-QAM – bardziej odporna na zakłócenia, lub 64-QAM – większej efektywności wykorzystania widma. W obu przypadkach stosuje się dodatkowo kodowanie transmisyjne dla potrzeb korekcji błędów.

W przypadku kanału FAC, ze względu na odporność, jest stosowana wyłącznie 4-QAM.

W przypadku kanału SDC są stosowane: 4-QAM lub 16-QAM.

Sygnał OFDM składa się z wielu osobno modulowanych nośnych. Każdy symbol OFDM jest tworzony z K nośnych i nadawany w przedziale czasu T_s . Odległość pomiędzy sąsiednimi nośnymi wynosi $1/T_u$. Przedział czasu pojedynczego symbolu T_s składa się z dwóch części: użytecznej o długości T_u i odstępu ochronnego o długości T_g . Odstęp ochronny zawiera przedłużenie części użytecznej i jest wstawiany przed nią. Symbole w ramce są numerowane od 0 do $N_s - 1$. Każdy symbol może być podzielony na tzw. komórki (cells), z których każda odpowiada modulacji przenoszonej na jednej nośnej podczas jednego symbolu.

Nadawany sygnał składa się z szeregu symboli OFDM. Każdy symbol OFDM jest tworzony z odstępu ochronnego, po którym następuje tzw. użyteczna część symbolu. Każdy symbol jest sumą K wycinków fal sinusoidalnych równomiernie rozłożonych w dziedzinie częstotliwości. Każdy wycinek, nazywany w specyfikacji DRM "komórką" (cell) jest nadawany z określoną amplitudą i fazą na określonej częstotliwości (pod-nośnej). Każdej nośnej jest przyporządkowany indeks k , należący do przedziału $[K_{\min}; K_{\max}]$, gdzie $k = 0$ odpowiada znamionowej częstotliwości nadawanego sygnału radiowego.

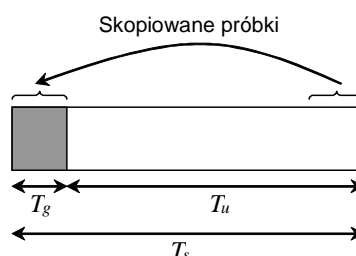
Parametry symbolu OFDM odnoszące się do czasu są wyrażane w wielokrotnościach elementarnego okresu T , który jest równy $83 \frac{1}{3} \mu s$. Tymi parametrami są:

T_g – czas trwania odstępu ochronnego,

T_s – czas trwania symbolu OFDM,

T_u – czas trwania użytecznej części symbolu OFDM (tzn. z pominięciem odstępu ochronnego).

W przedziale T_g przesyłana jest kopia fragmentu użytecznego czasu symbolu przesuwana, jak na Rys. 4.2, aby zwiększyć odporność transmisji w warunkach odbioru wielodrogowego.



Rys. 4.2: Struktura symboli OFDM w dziedzinie czasu

Wymagane wartości parametrów sygnału OFDM dla czterech trybów nadawania zawiera Tab. 4.3.

Tab. 4.3: Wartości parametrów OFDM

Tryb odporności	Użyteczny czas symbolu T_u [ms]	Odstęp nośnych $1/T_u$ [Hz]	Czas odstępu ochronnego T_g [ms]	Całkowity czas symbolu $T_s = T_u + T_g$ [ms]	T_g/T_u	Liczba symboli w ramce N_s
A	24	$41\frac{2}{3}$	2,66	26,66	1/9	15
B	21,33	$46\frac{7}{8}$	5,33	26,66	1/4	15
C	14,66	$68\frac{2}{11}$	5,33	20	4/11	20
D	9,33	$107\frac{1}{7}$	7,33	16,66	11/14	24

Parametry OFDM zależą od szerokości dostępnego pasma (kanału RF), liczby nośnych K i ich rozmieszczenie względem częstotliwości odniesienia f_R – nośnej DC lub z indeksem 0 (w konwencjonalnej AM jest to częstotliwość fali nośnej).

Pasmo częstotliwości zajmowane przez sygnał DRM powinno być dostosowane do znamionowej szerokości pasma kanału radiowego. W specyfikacji systemu zdefiniowano sześć możliwych wartości parametru charakteryzującego zajmowane pasmo, por. Tab. 4.4. Grupa nośnych przenoszących kanał szybkiego dostępu (FAC) jest lokowana zawsze powyżej f_R (która zawsze jest całkowitą wielokrotnością 1 kHz). Na Rys. 4.3 przedstawiono widmo zajmowane przez sygnał DRM w kanałach o szerokości 9 kHz, a na Rys. 4.4 w kanałach o szerokości 10 kHz.

Tab. 4.4: Typ zajętości widma DRM a szerokość pasma kanału radiowego

Szerokość pasma kanału [kHz]	4,5	5	9	10	18	20
Typ zajętość widma DRM	0	1	2	3	4	5



Rys. 4.3: Widmo zajmowane przez sygnał DRM w kanałach o szerokości 9 kHz



Rys. 4.4:: Widmo zajmowane przez sygnał DRM w kanałach o szerokości 10 kHz

Poszczególnym nośnym są przypisane indeksy $k \in [K_{\min}, K_{\max}]$, przy czym z nośna DC ma indeks 0 ($k = 0$) i znajduje się na częstotliwości odniesienia f_R kanału radiowego (w konwencjonalnym systemie AM jest to częstotliwość fali nośnej), nośne z indeksem $k < 0$ są nadawane w paśmie częstotliwości poniżej DC, a nośne z indeksem $k > 0$ są nadawane w paśmie powyżej DC.

W Tab. 4.5 przedstawiono wartości indeksów nośnych k w zależności od trybu odporności i szerokości pasma używanego kanału radiowego. W trybie A nośne o indeksach: -1 , 0 i 1 nie są wykorzystywane, w trybach B, C i D nie wykorzystuje się tylko nośnej z indeksem 0 .

Tab. 4.5: Indeksy nośnych DRM dla poszczególnych trybów pracy

Tryb odporności	Indeksy nośnych	Typ zajętość widma					
		0	1	2	3	4	5
	K_{\min}	2	2	-102	-114	-98	-110

A	K_{min}	2	2	-102	-114	-98	-110
	K_{max}	102	114	102	114	314	350
B	K_{min}	1	1	-91	-103	-87	-99
	K_{max}	91	103	91	103	279	311
C	K_{min}	-	-	-	-69	-	-67
	K_{max}	-	-	-	69	-	213
D	K_{min}	-	-	-	-44	-	-43
	K_{max}	-	-	-	44	-	135

Niektóre komórki w ramce OFDM są nadawane z ustaloną fazą i amplitudą, noszą nazwę komórek pilotujących (pilot cells) są one wykorzystywane do estymacji charakterystyk kanału radiowego i synchronizacji odbiorników.

W sygnale DRM, we wszystkich trybach nadawania, zarezerwowano trzy składowe o częstotliwościach przesuniętych o 750 Hz, 2250 Hz oraz 3000 Hz względem nośnej DC, por. Tab. 4.6. Te nośne powinny występować we wszystkich symbolach OFDM w każdej ramce. Mają zdefiniowaną amplitudę i fazę początkową. Są używane przez odbiorniki do detekcji obecności sygnału odbieranego i estymacji offsetu częstotliwości. Mogą być również wykorzystane do estymacji charakterystyk kanału radiowego i dostrajania odbiornika.

Tab. 4.6: Indeksy nośnych stosowanych jako częstotliwości odniesienia

Tryb odporności	Indeksy nośnych
A	18, 54, 72
B	16, 48, 64
C	11, 33, 44
D	7, 21, 28

Komórki używane do oznaczania skali czasu znajdują się w pierwszym symbolu OFDM w każdej ramce transmisyjnej.

4.3 Emisje SCS – nadawanie DRM i AM we wspólnym kanale

Jednoczesnego nadawanie przez tę samą stację we wspólnym kanale radiowym (Single Channel Simulcast, SCS) tego samego programu radiofonicznego w wersji analogowej

z dwuwstęgową modulacją amplitudową (DSB-AM) i w wersji cyfrowej (DRM) może być konieczne w okresie przejściowym, poprzedzającym całkowite wyłączenie emisji konwencjonalnej. Przy tym pasmo zajmowane przez emisję sygnału SCS powinno być zgodne z siatką kanałów ustaloną dla pasm radiofonicznych w Regulaminie Radiokomunikacyjnym.

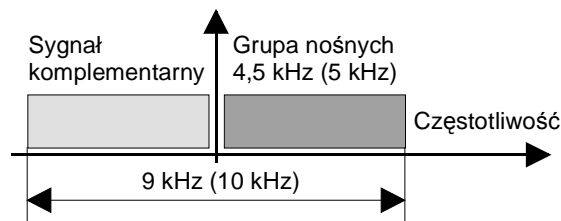
Ze względu na zakłócenia wzajemne proste sumowanie sygnałów DSB-AM oraz DRM, powodowałoby znaczne obniżenie jakości odbioru w obu systemach. Z tego względu sygnał SCS powinien spełniać następujące wymagania:

- odbiór cyfrowego sygnału DRM nie powinien być zakłócany przez sygnał analogowy nadawany w tym samym kanale radiowym;
- charakterystyki sygnału cyfrowego powinny być zgodne ze specyfikacją ETSI ES 201 980;
- konwencjonalna demodulacja obwiedni sygnału SCS, stosowana zwykle w istniejących odbiornikach DSB-AM powinna wystarczać do wydzielenia sygnału analogowego programu radiofonicznego;
- obecność sygnału cyfrowego nie powinien znacząco wpływać na jakość odbioru analogowego sygnału fonicznego.

Wymagania te spełnia sygnał SCS zdefiniowany w dokumencie ETSI TS 102 509^{/4}, który składa się z fali nośnej o znamionowej środkowej częstotliwości kanału radiowego i dwóch składowych widma rozmieszczonych symetrycznie we wstęgach bocznych, poniżej powyżej i powyżej fali nośnej, por. Rys. 4.5:

- w górnej wstędze bocznej (USB), o szerokości 4,5 kHz lub 5 kHz, jest zawarty składowa cyfrowa, którą tworzy grupa (pod)nośnych, reprezentująca sygnał DRM zdefiniowany w specyfikacji ETSI ES 201 980, przenosząca m.in. pełną informację o szybkim kanale dostępu (FAC);
- w dolnej wstędze bocznej (LSB), o tej samej szerokości pasma, jest formowany tzw. sygnał komplementarny.

^{/4} Możliwe są również inne metody generacji sygnału SCS.

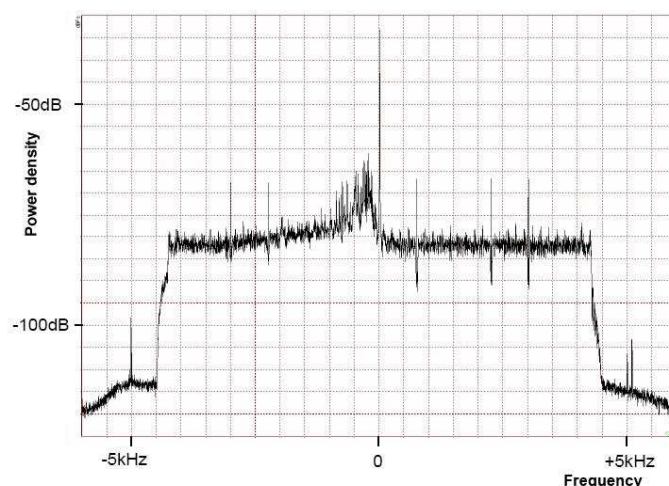


Rys. 4.5: Składowe sygnału SCS [ETSI TS 102 509]

Sygnał DRM mieści się w paśmie ograniczonym do połowy szerokości kanału radiowego. W modulatorze SCS komplementarny sygnał radiowy jest tworzony w ten sposób, aby w idealnych warunkach sygnał uzyskiwany po demodulacji obwiedni całkowitego sygnału odbieranego odtwarzał analogowy sygnał akustyczny. Sygnał cyfrowy można wydzielić i dekodować za pomocą odbiorników DRM.

Aby zapewnić zadowalającą jakość sygnału analogowego moc USB powinna zostać zredukowana w porównaniu z mocą LSB. Przykład charakterystyki widmowej sygnału SCS podano na Rys. 4.6, który przedstawia gęstość mocy widma sygnału SCS zmierzoną na wejściu odbiornika DRM. Głębokość modulacji sygnału AM ustawiono na ok. 30%, a moc USB zredukowano o 18 dB (-18 dBc) względem fali nośnej. W widmie wstęgi dolnej widać zwierciadlane odbicie wstęgi górnej (w tym trzech częstotliwości pilotów 750 Hz, 2250 Hz i 3000 Hz). Poziom mocy wstęgi górnej -18 dBc ustalono w wyniku badań laboratoryjnych, jako kompromis pomiędzy możliwością uzyskania zadowalającej jakości analogowego sygnału radiofonicznego i dostatecznej mocy składowej DRM dla uzyskania wymaganego zasięgu stacji. Dla wstęgi komplementarnej moc jest nastawiana dla uzyskania wymaganej głębokości modulacji AM, zwykle ok. 30%.

Generacja składowej komplementarnej sygnału SCS jest procesem iteracyjnym, który polega wykonywanej w małych odstępach czasu redukcji błędu rekonstrukcji analogowego sygnału akustycznego uzyskiwanego w wyniku demodulacji amplitudowej. Współczynniki wagi i liczba koniecznych iteracji w procesie generacji sygnału SCS są zależne od sygnału audio, który ma być nadawany oraz jakości, którą nadawca chce uzyskać. Wartości tych parametrów nie określono w specyfikacji TS 102 509.



Rys. 4.6: Zmierzona charakterystyka gęstości widma sygnału SCS [ETSI TS 102 509]

Natomiast zalecenia dotyczące redukcji mocy USB w sygnale SCS, czyli ustalenia poziomu -18 dBc składowej DRM względem fali nośnej, ustalono w wyniku testów laboratoryjnych z udziałem słuchaczy. Moc wstęgi komplementarnej jest dobierana do uzyskania wymaganej głębokości modulacji. Teoretycznie DRM i analogowa część sygnału nie powinny być zniekształcone. W warunkach rzeczywistych po demodulacji analogowy sygnał audio jest zniekształcony na skutek:

- asymetrii charakterystyki filtrów RF i IF odbiornika;
- selektywnych zaników w paśmie kanału radiowego.

Skutkiem tych zniekształceń jest powiększenie poziomu szumu w paśmie sygnału akustycznego.

Zróznicowanie charakterystyk filtrów istniejących odbiorników AM powoduje znaczne uzależnienie, jakości odbioru analogowej części sygnału od egzemplarza odbiornika. Także asymetria charakterystyki widmowej kanału radiowego ma wpływ na wynik sumowania wstęg bocznych i jakość odbioru AM. Ze względu na to, że propagacja wielodrogowa przez jonosferę jest typowym zjawiskiem w kanałach radiowych HF, stosowanie SCS zaleca się tylko w pasmach LF i MF, gdzie dominuje fala przyziemna. Ponadto w przypadku SCS nie należy stosować SFN, ponieważ części sygnału różnych nadajników będą oddziaływać tak samo, jak składowe wielodrogowe i powodować selektywne zaniki. Wpływ propagacji wielodrogowej na DRM w sygnale SCS jest porównywalny do wpływu na "normalną" transmisję DRM. Parametry do planowania sieci

opisujące degradację odbioru zależnie od charakterystyk kanału opisano w zaleceniu ITU-R BS.1615.

W rzeczywistości należy uwzględnić jeszcze dwa dodatkowe czynniki mające wpływ na jakość odbioru części DRM sygnału SCS:

- nielinearność wzmacniacza mocy nadajnika,
- nielinearność stopni wejściowych odbiornika,

które mogą powodować zależny od częstotliwości przesłuch sygnału komplementarnego z wstęgi dolnej do wstęgi górnej (z LSB do USB). Z tego względu należy przeprowadzić linearyzację charakterystyk nadajników stosowanych do transmisji SCS. Również stopnie wejściowe odbiorników SCS powinny być linearne, jeżeli ma być uzyskana wysoka jakość DRM.

4.4 Sieci jedno- i wieloczęstotliwościowe

W przypadku transmisji DRM jest możliwe nadawanie tego samego sygnału DRM na tej samej częstotliwości przez wiele stacji (Single Frequency Network, SFN), w taki sposób aby ich sygnały pojawiają się w antenie odbiorczej w tym samym czasie. Warunki odbioru SFN są zatem podobne do odbioru wielodrogowego sygnału pojedynczej stacji.

Na wielu obszarach odbiór DRM sygnałów nadawanych w trybie SFN może być wyższej jakości w porównaniu z odbiorem emisji pojedynczej stacji. Dla potrzeb synchronizacji nadajników SFN stosuje się "stempel czasowy" DRM (TAG Item) i lokalnie ustawiany offset czasowy. Typowa wymagana dokładność skali czasu w stosowanych trybach pracy wynosi 0,5% odstępu ochronnego, tj. w przybliżeniu $\pm 13,3 \mu\text{s}$ w trybie A, $\pm 26,66 \mu\text{s}$ w trybach B i C oraz $\pm 36,65 \mu\text{s}$ w trybie D.

Jeżeli nadajniki nadające identyczny sygnał DRM na różnych częstotliwościach radiowych są synchronizowane w czasie (Synchronized Multi-Frequency Network, SMFN), to możliwe jest wprowadzenie AFS, sygnalizacji alternatywnej (alternatywnych) częstotliwości, na których nadawany jest ten sam program. Stosowanie AFS jest sposobem zwiększenia prawdopodobieństwa odbioru zwłaszcza na falach krótkich. Przy tym sposobie nadawania możliwe jest automatyczne przełączenie odbiornika na "lepszą" z częstotliwości odbieranych w danym miejscu i danym momencie. Dla potrzeb synchronizacji nadajników stosuje się "stempel czasowy" DRM oraz lokalnie ustawiany offset.

Jeżeli nadajniki nadają identyczny sygnał DRM na różnych częstotliwościach (Multi-Frequency Network, MFN) nie są synchronizowane w czasie, to wykorzystanie udogodnień związanych z AFS nie jest możliwe, chociaż możliwe jest przełączenie odbiornika na inne częstotliwości.

W przypadku pojedynczego nadajnika DRM nie ma potrzeby stosowania AFS.

Wymagania odnośnie interfejsu dystrybucji multipleksu (MDI) w sieciach DRM zdefiniowano w dokumencie ETSI TS 102 280. Opis dotyczy części systemu począwszy od urządzenia generującego dane (DRM Multiplex Generator) do modulatora DRM zdefiniowanego w ten sposób, że możliwe jest tworzenie sieci MFN, SMFN i SFN. Urządzenie generujące DRM będzie zwykle umieszczane w studiu, chociaż może znajdować się także w nadajniku. Modulator będzie przeważnie po stronie nadajnika. Sygnał może być doprowadzony do modulatorów w kilku nadajnikach tworzących rozległą sieć, pracującą w jednym lub kilku kanałach radiowych. Przy tym jak wspomniano pakiety MDI przeznaczone do emisji w sieciach SFN lub SMFN powinny być znakowane stemplem czasu.

Innym udogodnieniem, które mogą oferować nadawcy w okresie przejściowym [ETSI TS 102 386] jest system sygnalizacji emisji AM (AM Signaling System, AMSS). AMSS ma ułatwiać dostrajanie odbiornika z demodulatorem AM do emisji DRM. Wymaga wprowadzenia dodatkowej modulacji fazowej do emisji AM. Sygnał AMSS zawiera uproszczony format SDC.

4.5 Dystrybucja sygnałów do nadajników DRM

Protokoły komunikacji i dystrybucji (Distribution and Communication Protocol, DCP) dla aplikacji DRM opisano szczegółowo w dokumencie ETSI TS 102 358. Specyficzne dla DRM protokoły to:

- Multiplex Distribution Interface (MDI);

Protokół MDI dotyczy transportu danych i poleceń z multipleksera DRM do modulatora DRM.

- Modulator Control Interface (MCI);

Protokół MCI dotyczy poleceń i sygnalizacji zdalnego sterowania nastawami modulatora i urządzeń nadawczych.

- Service Distribution Interface (SDI);

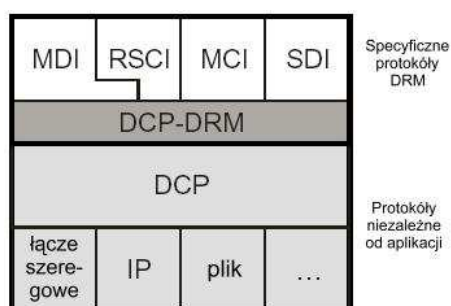
Protokół SDI jest przeznaczony do przesyłania danych i poleceń ze studia i innych źródeł do multipleksera DRM.

- Receiver Status Control Interface (RSCI), i inne.

RSCI jest przeznaczony do przesyłania informacji statusowych odbiorników, a także sterowania zachowaniem się odbiorników [por. ETSI TS 102 349].

DCP jest ogólnie dostępnym protokołem niezależnym od aplikacji, realizującym fragmentację, adresowanie i transmisję danych w kanałach z błędami, wykorzystującym do zabezpieczenia przesyłanych danych przed błędami (FEC) kody Reeda Salomona (RS).

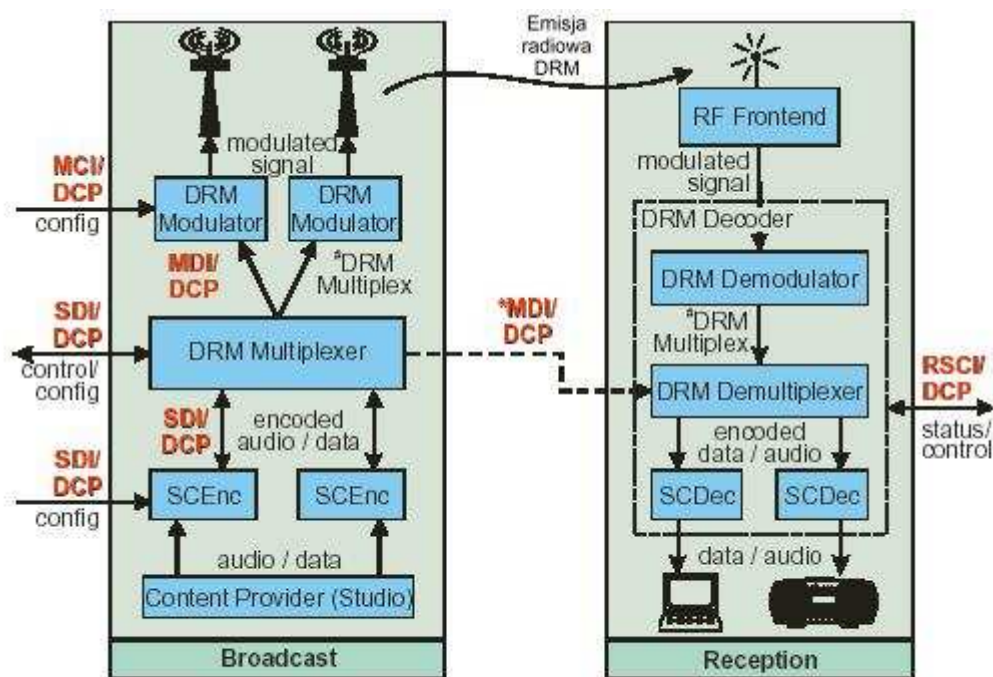
Uogólniony schemat stosu protokołów dotyczący wszystkich protokołów DRM przedstawiono na Rys. 4.7



Rys. 4.7: Stos protokołów DRM

Natomiast na rys. 4.8 podano schemat przepływu informacji w systemie DRM, na którym uwidoczniono połączenia obsługiwane przez opisane te protokoły.

Multiplekser DRM (DRM Multiplexed) przyjmuje strumienie MSC 0 – 3, FAC, SDC. Łącze pomiędzy studiem i modulatorem może być realizowane dowolną techniką (G.703, LAN, satelitarne). Protokół MDI może nie być stosowany, jeżeli multiplekser DRM i modulator DRM są częściami tego samego urządzenia.

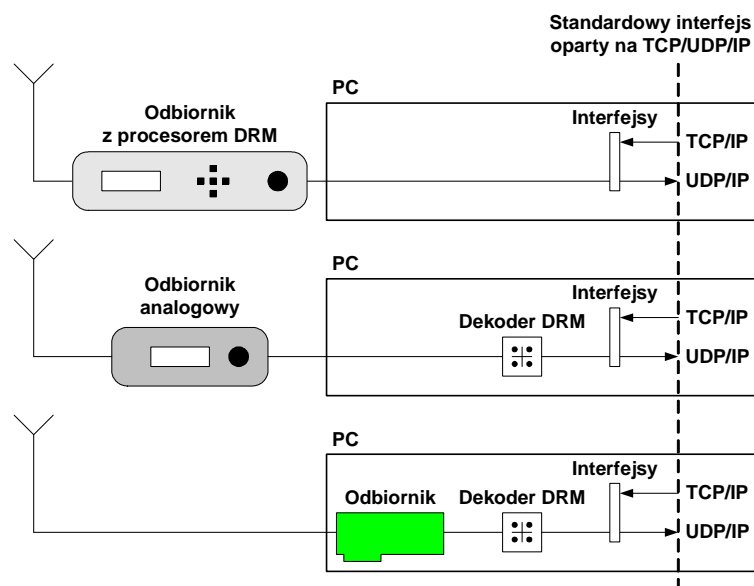


Rys. 4.8: Transmisja DRM i stosowane protokoły wg ETSI TS 102 358

Legenda: po stronie nadawczej: SCEnc = Service Component Encoder, koder usługi;
po stronie odbiorczej: SCDec Service component dekodek, dekodek usługi;
a pozostałe znane nazwy bloków funkcjonalnych nie wymagają objaśnień.

4.6 Kontrola emisji DRM

W dostępnych obecnie odbiornikach przeznaczonych do kontroli emisji i/lub monitorowania pokrycia DRM stosuje się różne rozwiązania, Rys. 4.9. Niezależnie od sposobu wykonania części toru zawierającej odbiornik sygnału RF (ang. front-end) i miejsca w dekodowania sygnału DRM, zaleca się stosowanie zunifikowanego interfejsu aparatury rejestrującej opartego na TCP/IP lub UDP/IP.



Rys. 4.9: Przykłady architektura odbiorników DRM wg ETSI TS 102 349

Dotychczas odbiór DRM realizowano głównie korzystając z oprogramowania instalowanego w komputerach osobistych. Liczne adresy uczelni i instytucji oferujących urządzeń oraz oprogramowania PC do odbioru emisji DRM znajdują się na stronie <http://www.drm.org/>. Specjalizowane układy odbiornika od 2005 r. oferuje m.in. firma Texas Instruments Inc. W drugim półroczu br. pojawiły się informacje o rozpoczęciu seryjnej produkcji odbiorników DRM.

4.7 Wymagania ITU dotyczące nadajników poniżej 30 MHz

W pierwszym regionie ITU zakresy częstotliwości poniżej 30 MHz używane dla potrzeb radiofonii obejmują:

- fale długie (Low Frequency, LF) od 148,5 kHz do 283,5 kHz,
- fale średnie (Medium Frequency, MF) od 526,5 kHz to 1606,5 kHz
- fale krótkie (High Frequency, HF) zbiór podzakresów w zakresie od 2,3 MHz do 27 MHz,

Zakresy częstotliwości i wartości odstępu międzykanałowego dla nadajników radiofonicznych AM podano w Tab. 4.7.

Tab. 4.7: Zakresy częstotliwości nadajników radiofonicznych AM

Nazwa pasma	Zakres częstotliwości [kHz]	Odstęp międzykanałowy [kHz]
Fale długie	148,5 ÷ 283,5	9
Fale średnie	526,5 ÷ 1606,5	9
Fale krótkie	3950 ÷ 4000	10
	5900 ÷ 6200	
	7100 ÷ 7350	
	9400 ÷ 9900	
	11600 ÷ 12100	
	13570 ÷ 13870	
	15100 ÷ 15800	
	17480 ÷ 17900	
	18900 ÷ 19020	
	21450 ÷ 21850	
	25670 ÷ 26100	

Szerokość pasma kanału radiowego wynosi odpowiednio 9 kHz (w pasmach LF i MF) lub 10 kHz (w pasmach HF). W dalszej części niniejszego opracowania odnośnie szerokości kanału będzie stosowany zapis 9 kHz (10 kHz) a w przypadku pasma o szerokości odpowiadającej połowie odstępów kanałowych zapis 4,5 kHz (5 kHz).

Zgodnie z zaleceniami ITU-R powinno być możliwe nastrojenie nadajnika AM na dowolną częstotliwość w jednym lub kilku zakresach z Tab. 4.7 zgodnie z deklaracją w specyfikacji sporządzonej przez producenta.

Dopuszcza się, aby częstotliwość znamionowa kanału (f_c) nadajnika zakresu fal długich i średnich była ustawiana w zakresach podanych w tablicy skokowo co 9 kHz, czyli $f_c = N \times 9 \text{ kHz}$, gdzie N jest liczbą naturalną zawartą w granicach: $17 \leq N \leq 31$ dla fal długich, lub w granicach: $58 \leq N \leq 178$ dla fal średnich.

Dopuszcza się, aby częstotliwość znamionowa kanału (f_c) nadajnika zakresu fal krótkich była ustawiana w podzakresach podanych w tablicy skokowo co 10 kHz, czyli $f_c = N \times 10 \text{ kHz}$, gdzie N jest liczbą naturalną.

Zatem pasmo emisji modulowanego nadajnika nie powinno być szersze niż 9 kHz w przypadku nadajnika pracującego na falach długich lub falach średnich, i nie powinno być szersze niż 10 kHz w przypadku nadajnika pracującego na falach krótkich.

System radiofonii cyfrowej przeznaczony do stosowania w zakresach fal długich (LF), fal średnich (MF) lub fal krótkich (HF) powinien pracować w systemie transmisji Digital Radio Mondiale (DRM) zdefiniowanym w normie ETSI ES 201 980.

4.8 Regulacje wynikające z Dyrektywy 1999/5/WE

Nadajniki radiofoniczne systemu DRM powinny spełniać wymagania zasadnicze (art. 153 ust. 1 ustawy Prawo Telekomunikacyjne z dn. 16 lipca 2004 r.) określone w dyrektywie 1999/5/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 9 marca 1999 r. tzw. dyrektywie R&TTE.

Wymagania te dotyczą:

- a) ochrony zdrowia i bezpieczeństwa użytkownika (art. 3.1a dyrektywy);
- b) kompatybilności elektromagnetycznej w zakresie wynikającym z ich przeznaczenia (art. 3.1b Dyrektywy);
- c) efektywnego wykorzystania zasobów częstotliwości lub zasobów orbitalnych (art. 3.2 Dyrektywy).

Domniemanie zgodności z wymaganiami zasadniczymi polega na wykazaniu zgodności z odpowiednimi normami zharmonizowanymi z dyrektywą R&TTE, których wykaz jest publikowany w Dzienniku Urzędowym UE ^{/5}. W Tab. 4.8 podano symbole tych norm, które powinny być stosowane do oceny zgodności nadajników radiofonicznych DRM.

Tab. 4.8: Normy zharmonizowane używane do oceny zgodności nadajników DRM

Artykuł dyrektywy 1999/5/WE		
art. 3.1a	art. 3.1b	art. 3.2
EN 60950-1:2001	ETSI EN 301 489-1	ETSI EN 302 245-1
EN 60215:1989 +A2:1993	ETSI EN 301 489-11	ETSI EN 302 245-2

Uwagi. 1. Tytuły norm podano w bibliografii. Z zasady do oceny nowych urządzeń należy stosować ostatnią wersję powołanej normy.

^{/5} Aktualny wykaz podano w Official Journal of the European Union. 2006/C 201/01. 24.8.2006.

Wymagania dotyczące podstawowych charakterystyk i parametrów RF nadajników DRM określono w normach ETSI EN 302 245-1 i EN 302 245-2. Wymagania te obejmują:

- a) znamionową moc RF, badaną na trzech częstotliwościach fali nośnej w zakresie przestrajania nadajnika;
- b) stałość częstotliwości RF;
- c) jakość generowanego sygnału OFDM, której miarą jest Modulation Error Ratio (MER).

MER jest definiowany jako stosunek, w dB, sumy kwadratów modułów wektorów idealnych symboli sygnału do sumy kwadratów modułów wektorów błędów symboli.

$$MER = 10 \times \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} dB$$

MER należy wyznaczyć dla modulacji QAM-16 i QAM-64.

- d) emisje niepożądane (spurious emissions) na złączu antenowym;
- e) wytłumienie mocy RF podczas zmiany częstotliwości pracy;
- f) emisje pozapasmowe (out-of-band emissions), tzw. promieniowanie od obudowy nadajnika.

Przy czym wymagania zasadnicze w znaczeniu art. 3.2 dyrektywy 1999/5/WE dotyczą tylko parametrów wymienionych tu w punktach d), e), f).

Spełnienie wymagań odnośnie charakterystyk EMC nadajników DRM należy badać zgodnie z warunkami określonymi w normach ETSI EN 301 489-1 i EN 301 489-11.

4.9 Weryfikacja map pokrycia Polski

4.9.1 Wprowadzenie

Niniejszą część pracy wykonano w celu weryfikacji map pokrycia terytorium Polski sygnałem DRM nadawanym na falach średnich przedstawionych w dokumencie pt. "Analiza możliwości cyfryzacji radiofonii w zakresach częstotliwości poniżej 30 MHz w Polsce", opublikowanym przez Urząd Regulacji Telekomunikacji i Poczty w 2005 r.

Konieczne obliczenia wykonano korzystając z programu AnaZas. Program ten powstał w Zakładzie Systemów Radiowych Instytutu Łączności w latach ubiegłych w ramach

działalności statutowej. Umożliwia analizę pokrycia terenu sygnałem radiowym emitowanym na falach długich i średnich zgodną z zaleceniami ITU-R.

W dokumencie opublikowanym przez URTiP przedstawiono wyniki analiz (mapy) pokrycia nie podając podstawowych informacji dotyczących założeń przeprowadzonej analizy takich, jak: lokalizacja stacji, ich moce promieniowania, wysokości zamocowania anten oraz informacji o systemie pracy stacji zakłócających i innych zakłóceniach. Zaproponowane częstotliwości, oraz przybliżone lokalizacje stacji wydają się nie być zgodne z planem GE75. według którego powinny być rozmieszczone stacje na terenie Polski. Dodatkowo, na mapach zamieszczonych w dokumencie URTiP znajdują się prawdopodobnie dodatkowe stacje, których nie ma w planie GE75.

Brak informacji o założeniach przeprowadzonych obliczeń utrudnia analizę ich wyników. Przewodność gruntu, parametr istotny dla propagacji na tym zakresie częstotliwości, został uśredniony do 3 mS/m, podczas gdy w rzeczywistości jego wartości na terenie Polski znacznie się różnią. W efekcie obszary pokrycia wykreślone na mapach (Załączniku 2 do dokumentu) mają regularny kształt kół o środkach w punktach lokalizacji poszczególnych stacji.

4.9.2 Analiza map pokrycia z wykorzystaniem programu AnaZas

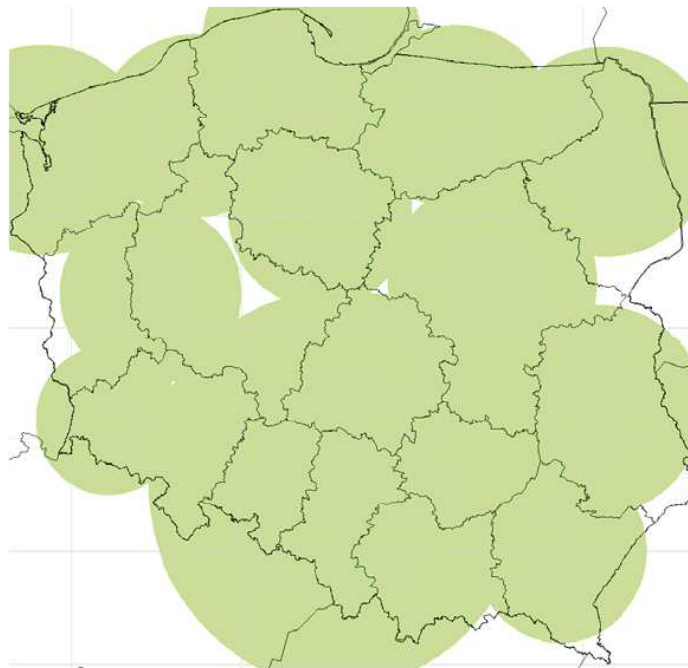
Zasadniczym celem tego opracowania jest analiza sieci stacji radiofonicznych do pokrycia Polski sygnałem DRM przedstawionych przez URTiP w [1]. W związku z tym, że parametry wykonanej analizy nie zostały podane, przeprowadzono próby ich oszacowania. W celu dokonania analiz zasięgów dokonano następujących założeń:

- lokalizacje stacji istniejących zostały określone na podstawie planu GE75,
- lokalizacje stacji, które dotychczas nie istniały zostały ustalone na podstawie mapy Polski,
- położenie geograficzne nadajników zostało ustalone na podstawie mapy Polski,
- parametry anten, wysokości ich zawieszenia, czasy pracy stacji zostały ustawione tak, jak ustanowiono w planie GE75,
- moc nadajników została oszacowana na podstawie map z dokumentu [1].

Zasadę wyznaczania zasięgu stacji za pomocą programu AnaZas opisano w Dodatku C do tego punktu.

4.9.3 Analiza multipleksu 2A

Według URTiP, multipleks 2A składa się ze stacji Koszęcin, pracującej na częstotliwości 1080 kHz z mocą 300 kW oraz sieci 11 stacji pracujących na częstotliwości 1206 kHz, których suma mocy wynosi 77 kW. Wynik symulacji uzyskany przez URTiP przedstawiono na Rys 4.10:



Rys. 4.10: Mapa pokrycia multipleksu 2A przedstawiona w dokumencie URTiP

W celu weryfikacji analizy wyznaczono moce poszczególnych stacji. Zakładając średnią przewodność gruntu, dla danej częstotliwości. Ponieważ zasięg stacji zależy od mocy promieniowanej, to stacje, których okręgi pokrycia mają ten sam promień, promieniują taką samą moc sygnału radiowego. Obliczenie mocy zostało dokonane tak, by suma mocy 11 stacji dała 77 kW zgodnie z danymi z dokumentu [1] i zasadą, że sieć stacji radiowych jest widoczna w dalekiej odległości jako jedna stacja o mocy promieniowania równej sumie mocy poszczególnych stacji i położeniu w środku ciężkości figury opisanej na stacjach składowych.

Zestawienie danych stacji branych pod uwagę w analizie przedstawiono w Tab. 4.9:

Tab. 4.9: Dane do analizy multipleksu 2A

Lp.	Nazwa	f	f _{GE75}	P	P _{GE75}	γ	δ	h	σ
1	Koszęcin	1080	1080	300	1500	18E52	50N38	132	4
2	Szczecin	1206	1260	10	160	14E34	53N30	109	4
3	Gdańsk	1206	1305	10	60	18E35	54N14	108	3
4	Olsztyn	1206	1206	5	60	20E35	53N51	118	4
5	Suwałki	1206	1260	10	60	22E27	54N00	109	4
6	Zielona Góra	1206	1386	5	60	15E07	52N06	104	5
7	<i>Toruń⁶</i>	<i>1206</i>	-	<i>5(300)</i>	-	<i>18E37</i>	<i>53N01</i>	<i>108</i>	5
8	Warszawa	1206	819	10	1500	21E17	52N27	174	4
9	Bolesławiec	1206	1260	2	60	15E28	51N12	D ⁷	5
10	Lublin	1206	1206	10	100	22E40	51N00	118	3
11	Rzeszów	1206	1305	5	300	21E58	50N00	108	4
12	Koszalin	1206	1206	5	60	16E22	54N01	118	4

gdzie:

- f – częstotliwość pracy wg URTiP [kHz]
- f_{GE75} – częstotliwość pracy wg planu GE75 [kHz]
- P – moc promieniowana wyznaczona na potrzeby analizy [kW]
- P_{GE75} – moc promieniowana wg planu GE75 [kW]
- σ – przewodność gruntu w położeniu nadajnika [mS/m]
- δ – szerokość geograficzna lokalizacji stacji [stopnie]
- γ – długość geograficzna lokalizacji stacji [stopnie]

Do weryfikacji zasięgów stacji wykorzystano dane zawarte w Tab. 4.9 oraz mapę konduktywności gruntu. Wzięto pod uwagę zakłócenia przemysłowe oraz atmosferyczne, które znacznie ograniczają zasięg stacji radiofonicznych. Obliczenia wykonano za pomocą programu AnaZas, który używa algorytmów obliczeniowych opracowanych w oparciu

⁶ Stacja i jej parametry zostały utworzone na potrzeby symulacji.

⁷ Zastosowanie anteny kierunkowej powoduje, że w modelu obliczeniowym nie jest ważna wysokość zamocowania anteny. Wymagana jest za to jej charakterystyka kierunkowa. W obliczeniach użyto charakterystyki zgodnej z charakterystyką pracującej dotychczas anteny.

o zalecenia ITU-R. Graficzne przedstawienie wyników obliczeń dla stacji z multipleksu 2A z użyciem programu AnaZas pokazano na Rys. 4.11.



Rys. 4.11: Analiza multipleksu 2A dokonana za pomocą programu AnaZas – moce oszacowane

Z powyższego rysunku wynika wniosek, że dla danych umieszczonych w Tab. 4.9 nie jest możliwe pokrycie Polski programem ogólnokrajowym. Zasięgi stacji są bardzo małe ze względu na bardzo małe moce promieniowania nadajników. Nierównomierność obszarów pokrycia wynika z faktu, że program dokonuje obliczeń z uwzględnieniem mapy konduktywności gruntu. Ponadto uwzględnione są zakłócenia atmosferyczne oraz zakłócenia przemysłowe. Dane dotyczące poziomu zakłóceń również pochodzą z ustaleń ITU. Dla częstotliwości, na których pracuje multipleks 2A wartości granicznego natężenia pola ze względu na obecność tych zakłóceń wynoszą odpowiednio:

- atmosferyczne: 60 dB ($\mu\text{V/m}$),
- przemysłowe: 69 dB ($\mu\text{V/m}$),
- własna stacja: 6 dB ($\mu\text{V/m}$),
- własna stacja synchroniczna: 8 dB ($\mu\text{V/m}$).

Wszystkie symulacje zostały przeprowadzone dla pory dziennej.

Dokonana została także analiza zasięgów stacji multipleksu 2A z uwzględnieniem mocy zgodnych z planem GE75. Zasięgi są znacznie większe, jednakże suma mocy promieniowanej jest bardzo duża Rys. 4.12.



Rys. 4.12: Analiza multipleksu 2A dokonana za pomocą programu AnaZas – moce z GE75

Zastosowanie stacji według proponowanej przez URTiP konfiguracji przestrzennej, lecz z ich oryginalnymi parametrami, pozwala na pokrycie znacznej części terytorium Polski, jednakże użycie tych stacji z częstotliwościami pracy ustalonymi przez URTiP jest niezgodne z dotychczasowym planem GE75.

Na potrzeby symulacji została utworzona stacja Toruń. W rzeczywistości, w tej lokalizacji nie było żadnego nadajnika, jednak położenie geograficzne koła opisującego pokrycie województwa kujawsko-pomorskiego na mapie z [1] wskazuje na źródło promieniowania znajdujące się w Toruniu. Ponadto, ze względu na parametry gruntu w okolicy Torunia, konieczny jest nadajnik o mocy promieniowania około 300 kW.

Pokrycie kraju można by uzyskać po uruchomieniu nadajnika w Poznaniu o mocy około 300 kW. Parametry gruntu w tym regionie Polski sprawiają, że stacja tej mocy powinna zapewnić wypełnienie luki w pokryciu zachodniej części kraju. Nie jest zatem konieczne nadawanie z nominalną dotychczasową mocą 1,5 MW.

4.9.4 Analiza multipleksu 3A

Multipleks 3A w dokumencie [1] zawiera stację dużej mocy, o mocy promieniowania równej 300 kW pracującą na częstotliwości 819 kHz i sieć 8 stacji synchronicznych o łącznej mocy 62 kW na częstotliwości 1305 kHz. Lokalizacje poszczególnych stacji zostały dobrane za pomocy mapy Polski. Moce tych stacji oszacowano według procedury takiej,

jak w poprzednim przypadku. Zestawienie danych stacji branych pod uwagę w analizie zawarto w Tab. 4.10:

Tab. 4.10: Dane do analizy multipleksu 3A

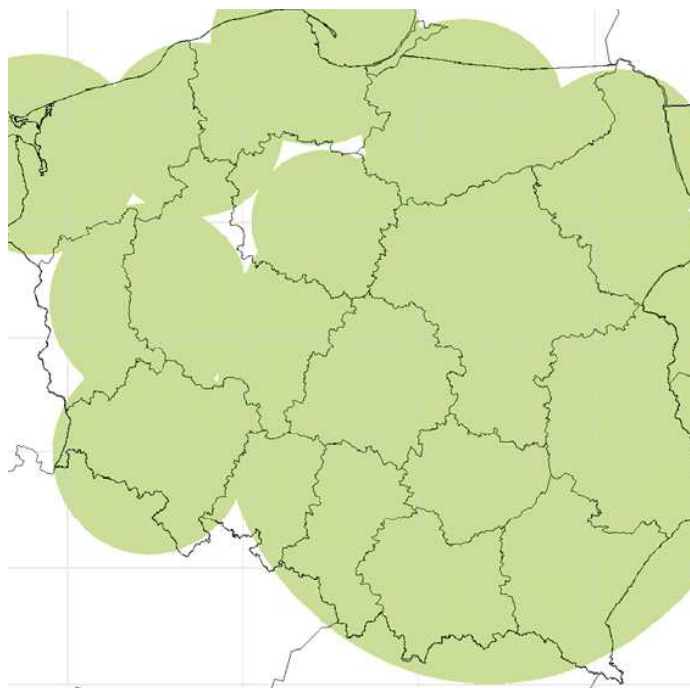
Lp.	Nazwa	f	f _{GE75}	P	P _{GE75}	γ	δ	h	σ
1	Gdańsk	1305	1305	10	60	18E35	54N14	108	3
2	Olsztyn	1305	1206	10	60	20E35	53N51	118	4
3	Koszalin	1305	1206	5	60	16E22	54N01	118	4
4	Szczecin	1305	1260	10	160	14E34	53N30	109	4
5	Zielona Góra	1305	1386	10	60	15E07	52N06	104	5
6	Suwałki	1305	1260	5	60	22E27	54N00	109	4
7	<i>Toruń</i>	<i>1305</i>	<i>-</i>	<i>2 (300)</i>	<i>-</i>	<i>18E37</i>	<i>53N01</i>	<i>108</i>	<i>5</i>
8	Radom ⁸	819	1602	300	1	21E10	51N25	47	5
9	Jelenia Góra	1305	1305	10	10	15E40	50N55	108	5

gdzie:

- f – częstotliwość pracy wg URTiP [kHz]
- f_{GE75} – częstotliwość pracy wg planu GE75 [kHz]
- P – moc promieniowana wyznaczona na potrzeby analizy [kW]
- P_{GE75} – moc promieniowana wg planu GE75 [kW]
- σ – przewodność gruntu w położeniu nadajnika [mS/m]
- δ – szerokość geograficzna lokalizacji nadajnika [stopnie]
- γ – długość geograficzna lokalizacji nadajnika [stopnie]

Wyniki analizy przeprowadzonej przez URTIP przedstawiono na Rys. 4.13:

⁸ Moc zwiększona na 1000 kW



Rys. 4.13: Mapa pokrycia multipleksu multipleksu 3A przedstawiona w dokumencie URTiP

Symulując warunki normalnej pracy stacji dokonano analizy tego samego kompleksu nadajników korzystając z programu Ananas, Rys. 4.14. Dla częstotliwości, na których pracuje multipleks 3A wartości granicznego natężenia pola ze względu na obecność zakłóceń wynoszą odpowiednio:

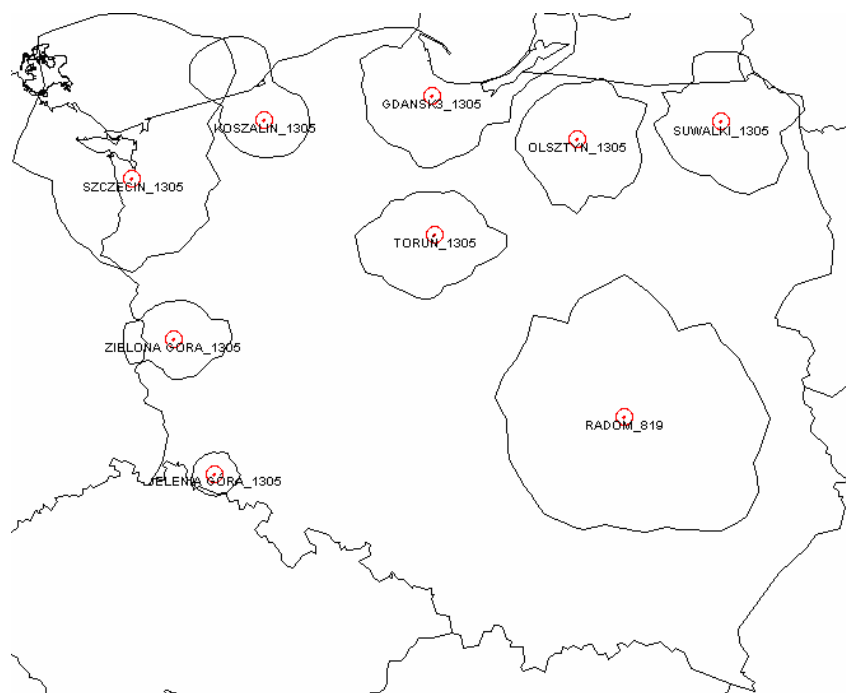
- atmosferyczne: 58 dB $\mu\text{V/m}$ (dla 1305 kHz), 63 dB $\mu\text{V/m}$ (dla 819 kHz),
- przemysłowe: 64 dB $\mu\text{V/m}$ (dla 1305 kHz), 74 dB $\mu\text{V/m}$ (dla 819 kHz),
- własna stacja: 6 dB $\mu\text{V/m}$,
- własna stacja synchroniczna: 8 dB $\mu\text{V/m}$.

Wszystkie symulacje zostały przeprowadzone dla pory dziennej.



Rys. 4.14: Analiza zasięgów stacji multiplexu 3A z użyciem programu AnaZas – moce oszacowane

Z Rys. 4.14 wynika, że dla danych umieszczonych w Tab. 4.10 nie jest możliwe pokrycie Polski programem ogólnokrajowym. Wykonano także analizę tego kompleksu stacji w przypadku gdyby promieniowały z mocami określonymi w planie GE75 (Rys. 4.15).



Rys. 4.15: Analiza zasięgów stacji multiplexu 3A z użyciem programu AnaZas – moce z GE75

W tym przypadku pokrycie kraju nie jest możliwe nawet przy użyciu dużych mocy. Aby uzyskać lepszy efekt należałoby uruchomić stację w Poznaniu, która pokryje zasięgiem zachodnią część Polski, a także pokryć południe np. stacjami Wrocław, Kraków, Rzeszów. Nie byłoby to jednak zgodne z planem GE75, gdyby stacje te miały pracować w sieci synchronicznej.

4.9.5 Analiza multipleksu 4A

Multipleks 4A jest określony jako kompleks 17 stacji pracujących na częstotliwości 1260 kHz o łącznej mocy promieniowania równej 80 kW. Moce promieniowania i lokalizacje tych stacji zostały ustalone analogicznie jak w przypadkach opisanych poprzednio. W Tab. 4.11 przedstawiono parametry stacji należących do multipleksu 4A:

Tab. 4.11: Stacje multipleksu 4A wraz z ich parametrami

Lp.	Nazwa	f	f _{GE75}	P	P _{GE75}	γ	δ	H	σ
1	Łódź	1260	1305	2,5	60	19E32	51N35	108	4
2	Białystok	1260	1305	3	100	23E13	53N11	108	4
3	Bolesławiec	1260	1260	1	60	15E28	51N12	D	5
4	Gdańsk	1260	1305	10	60	18E35	54N14	108	3
5	Kielce	1260	1260	2,5	60	20E42	50N38	D	4
6	Kraków	1260	1368	3	60	19E53	50N04	104	4
7	Lublin	1260	1206	3	100	22E40	51N00	118	3
8	Olsztyn	1260	1206	2,5	60	20E32	53N51	118	4
9	Opole	1260	1260	3	60	18E09	50N37	D	5
10	Rzeszów	1260	1305	3	300	21E58	50N00	108	4
11	Suwałki	1260	1260	3	60	22E27	54N00	109	4
12	Toruń ⁹	1260	-	2,5(300)	-	18E37	53N01	108	5
13	Warszawa ¹⁰	1260	819	10	1500	21E17	52N27	174	4
14	Wrocław	1260	1206	10	200	17E03	50N58	118	4
15	Gorzów Wielk.	1260	1602	1	1	15E15	52N45	47	5
16	Stargard Szcz. ¹¹	1260	1503	10	1000	15E07	53N18	D	4

⁹ Stacja i jej parametry zostały stworzone na potrzebę symulacji.

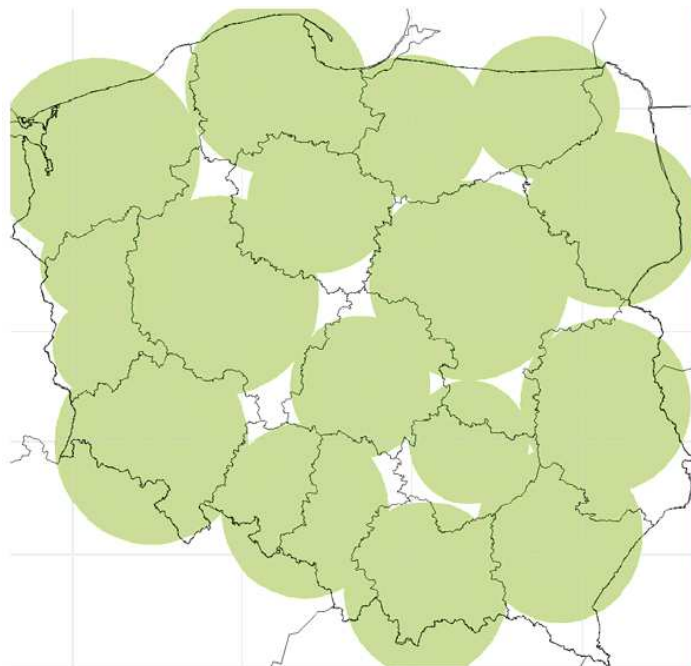
¹⁰ Moc zmniejszona na 600 kW

Lp.	Nazwa	f	f _{GE75}	P	P _{GE75}	γ	δ	H	σ
17	Poznań ¹²	1260	738	10	1500	17E00	52N36	D	4

gdzie:

- f – częstotliwość pracy wg URTiP [kHz]
- f_{GE75} – częstotliwość pracy wg planu GE75 [kHz]
- P – moc promieniowana wyznaczona na potrzeby analizy [kW]
- P_{GE75} – moc promieniowana wg planu GE75 [kW]
- σ – przewodność gruntu w położeniu nadajnika [mS/m]
- δ – szerokość geograficzna lokalizacji nadajnika [stopnie]
- γ – długość geograficzna lokalizacji nadajnika [stopnie]

Wyniki analizy przeprowadzonej przez URTIP dla multipleksu M4A przedstawiono na Rys. 4.16.



Rys. 4.16: Analiza multipleksu 4A dokonana przez URTiP

Wyniki analizy tego samego multipleksu wykonanej programem AnaZas przedstawiono na Rys. 4.17. Dla częstotliwości, na których pracuje multipleks 4A wartości granicznego natężenia pola ze względu na obecność tych zakłóceń wynoszą odpowiednio:

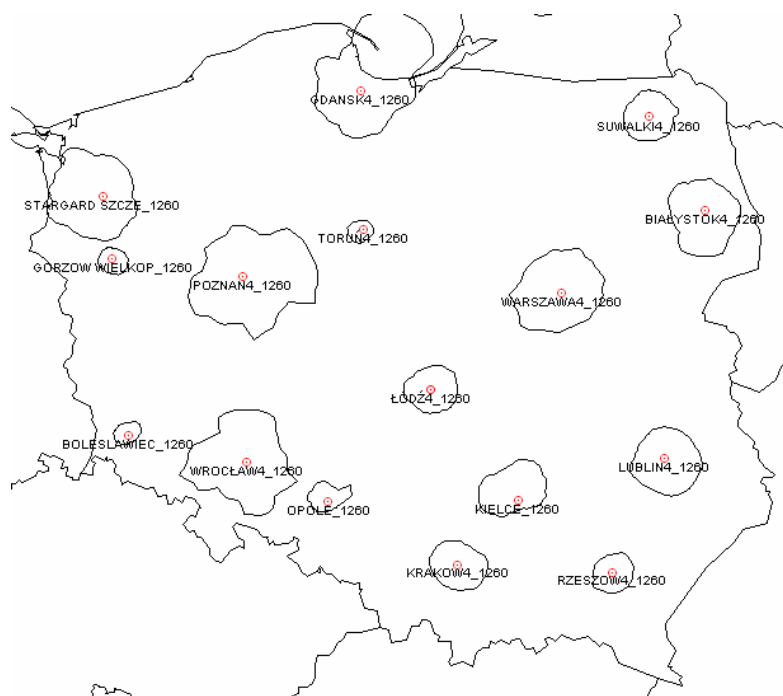
- atmosferyczne: 60 dB (μV/m),

¹¹ Moc zmniejszona na 300 kW

¹² Moc zmniejszona na 300 kW

- przemysłowe: 69 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$),
- własna stacja: 6 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$),
- własna stacja synchroniczna: 8 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$).

Wszystkie symulacje zostały przeprowadzone dla pory dziennej.



Rys. 4.17: Analiza zasięgów stacji multipleksu 4A z użyciem programu AnaZas – moce oszacowane

Zastosowana konfiguracja stacji nie daje pokrycia całego kraju sygnałem radiowym. Konieczne jest zwiększenie mocy promieniowanej. Na Rys. 4.18 zamieszczono wyniki symulacji tego samego multipleksu z użyciem wartości mocy pochodzących z planu GE75:



Rys. 4.18: Analiza zasięgów stacji multipleksu 4A z użyciem programu AnaZas – moce z planu GE75

Użycie stacji z multipleksu 4A daje największe pokrycie sygnałem radiowym ze wszystkich analizowanych w tym dokumencie konfiguracji. Warunkiem jest użycie dużych mocy, zgodnych z planem GE75 lub niewiele zredukowanych. Pełniejsze pokrycie zostało by uzyskane, gdyby umieścić jeszcze jeden nadajnik na północy, na przykład w Koszalinie o mocy np. 60 kW.

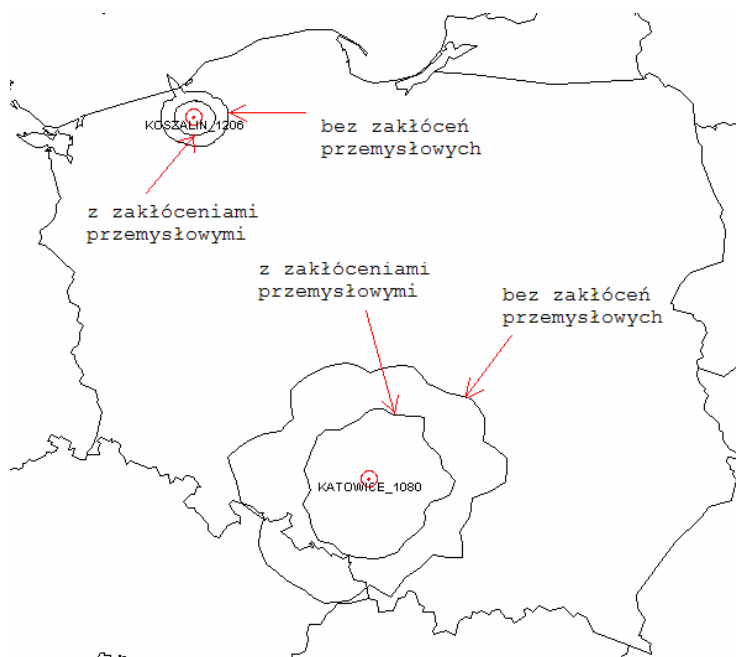
Redukcja mocy niektórych nadajników została wprowadzona do analizy by zmniejszyć stopień nakładania się sygnałów pochodzących z sąsiadujących ze sobą nadajników. Wpływ tej redukcji został sprawdzony poprzez wielokrotne analizy pokrycia przy różnych mocach w tej samej lokalizacji. Pozwoliło to określić najbardziej optymalną moc promieniowaną ze względu na pokrycie w danej lokalizacji.

4.9.6 Analiza bez zakłóceń przemysłowych

Przedstawione powyżej wyniki analizy zostały uzyskane przy uwzględnieniu zakłóceń przemysłowych i atmosferycznych. O ile poziom zakłóceń atmosferycznych należy pozostawić niezmienny, to można uznać, że poziom zakłóceń przemysłowych uległ zmianie. Analizy przeprowadzone na potrzebę tego dokumentu opierają się na wartościach granicznego natężenia pola pochodzących z zaleceń ITU-R, jednak poziom uprzemysłowienia kraju, zmienia się z upływem czasu. Dotyczy to szczególnie przemysłu

związanego z przesyłaniem i poborem dużej ilości energii lub emisją promieniowania elektromagnetycznego w zakresie fal średnich.

W celu potwierdzenia konieczności uwzględniania zakłóceń przemysłowych i określenia znaczenie ich wpływu została dokonana analiza stacji małej i dużej mocy. Przeprowadzono ją w oparciu o multipleks 2A. Do analizy wzięto stacje: Koszęcin i Koszalin, przy czym moce promieniowane tych stacji były określone zgodnie z szacunkiem własnym wykonanym na potrzebę weryfikacji analiz URTiP. Na Rys. 4.19 zamieszczono zobrazowanie różnicy w zasięgach stacji z uwzględnieniem zakłóceń przemysłowych i bez ich uwzględnienia:

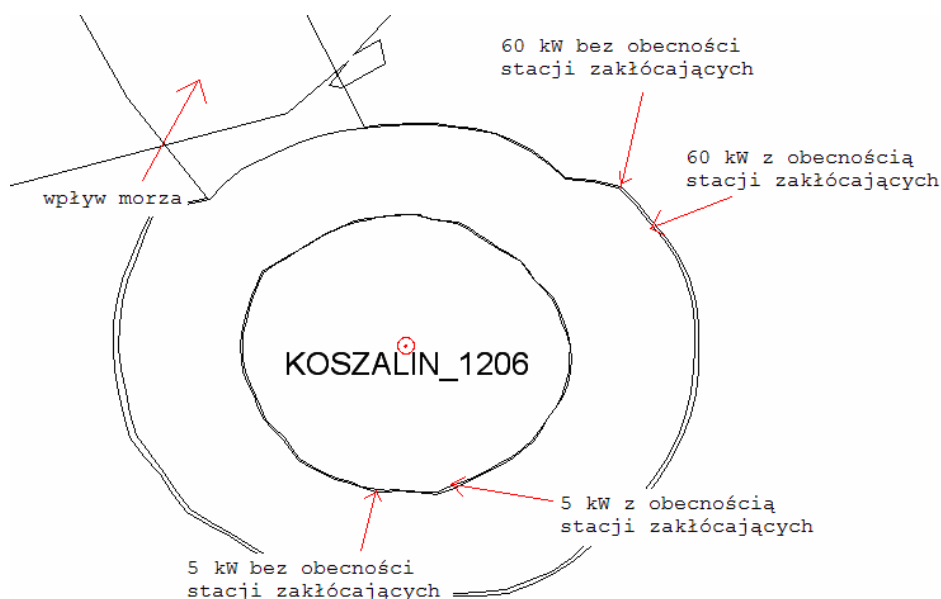


Rys. 4.19: Analiza wpływu zakłóceń przemysłowych na zasięg stacji radiofonicznej

Należy zauważyć, że wartości graniczne natężenia pola przyjęto dla terenu wiejskiego. Po zastosowaniu współczynników dla terenu miejskiego, zasięgi stacji byłyby jeszcze mniejsze, niż te, które otrzymano w wyniku analizy.

4.9.7 Analiza z obecnością stacji zakłócających

W ramach analizy zasięgów został sprawdzony wpływ, jaki mają stacje zakłócające na zasięg stacji radiofonicznej. Przeprowadzono analizy w różnych lokalizacjach i wpływ zakłóceń okazał się podobny – we wszystkich przypadkach nieznaczny. Jest tak prawdopodobnie dlatego, że do analizy wzięto stacje z planu GE75, których parametry i lokalizacje dobrano tak, by się wzajemnie jak najmniej zakłócały. Na Rys. 4.20 przedstawiono graficzne przedstawienie wyników analizy dla stacji Koszalin.



Rys. 4.20: Analiza wpływu stacji zakłócających na zasięg stacji radiofonicznej

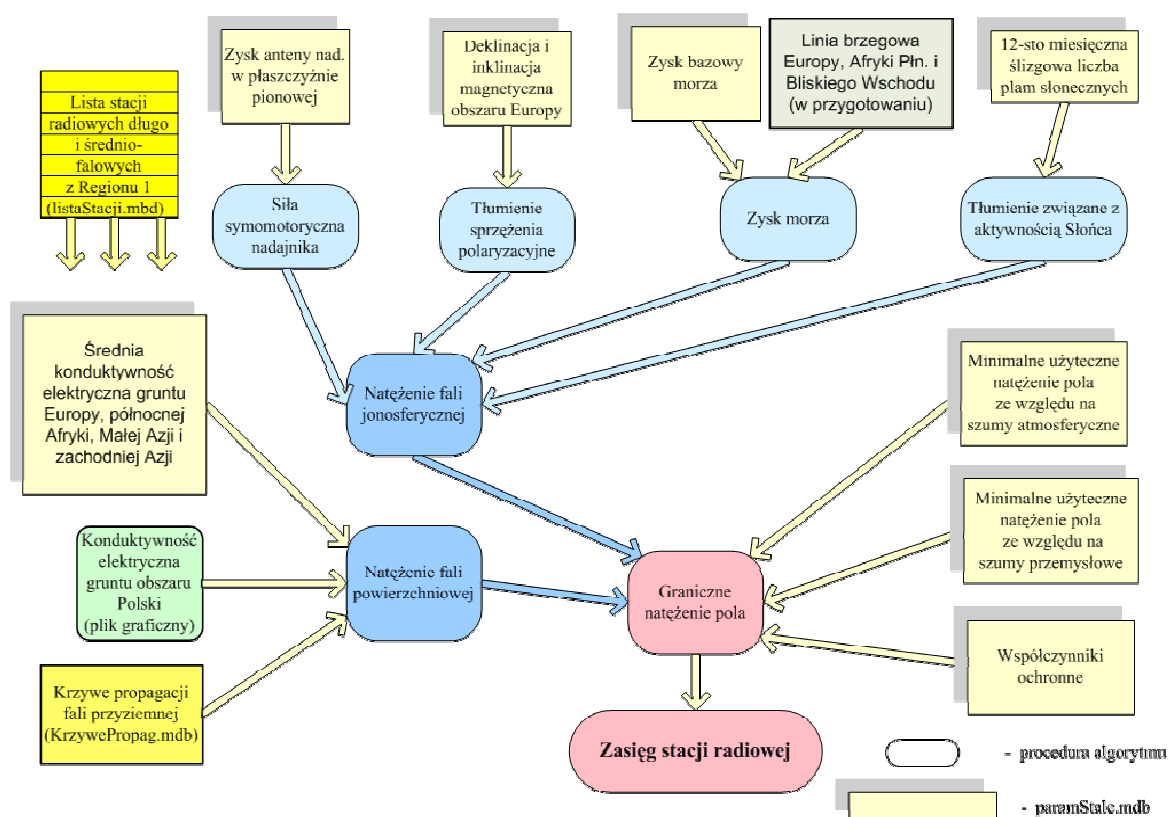
Przy analizie wpływu stacji zakłócających, jako stacje interferujące wzięto wszystkie możliwe stacje działające w tym samym kanale radiowym oraz do dwóch kanałów niżej i wyżej. Szczegółowe wyniki w postaci raportu tekstowego znajdują się w Dodatku B i C do tego dokumentu.

Baza stacji DRM aktualnie pracujących w Europie nie jest na dzień dzisiejszy dostępna. Przeprowadzona tu analiza została wykonana przy założeniu, że stacje zakłócające wspólnie- i sąsiedniokanałowe, pracują w systemie AM zgodnie z planem GE75.

4.10 Dodatek A – Charakterystyka programu AnaZas

Program AnaZas opracowano w ramach działalności statutowej Instytutu Łączności. Jest przygotowywany do wykonywania analiz propagacyjno-sieciowych w zakresie fal średnich i długich, a w szczególności do wyznaczenia zasięgu stacji radiowej średnioletowej lub długofalowej pracującej w systemie AM lub DRM. Kod programu został napisany w języku Delphi8, program pracuje w środowisku Windows XP.

Dane wejściowe mogą być wprowadzane za pomocą klawiatury lub pobierane z bazy danych w formacie MS Access. Schemat blokowy algorytmu działania programu AnaZas pokazano na Rys. 4.21:



Rys. 4.21: Schemat blokowy algorytmu działania programu AnaZas

Obliczenia propagacyjno-sieciowe mogą być prowadzone dla pory dziennej i nocnej z uwzględnieniem pracy z falą powierzchniową i jonosferyczną. Dodatkowo, program umożliwia uwzględnienie strat powodowanych przez zakłócenia atmosferyczne, przemysłowe oraz interferencje wspólnego- i sąsiedniokanałowe.

Zasięg stacji radiowej jest obliczany według schematu z Rys. 4.21. Program dokonuje porównania wartości natężenia pola sygnału użytecznego z wartością granicznego natężenia pola. Dla każdego azymutu wyznaczana jest maksymalna odległość, dla której spełniony jest warunek (1):

$$E_u \geq E_{gr} \quad (1)$$

gdzie:

E_u – natężenie sygnału użytecznego [dB ($\mu\text{V/m}$)],

E_{gr} – graniczne natężenie pola [dB ($\mu\text{V/m}$)].

Wartość natężenia pola sygnału użytecznego jest obliczana z krzywych propagacji (dla fali powierzchniowej) lub z odpowiednich wyrażeń analitycznych (dla fali jonosferycznej). Wartość granicznego natężenia pola jest wyznaczana z zależności (2):

$$E_{gr} = \sqrt{E_{atm}^2 + E_{prz}^2 + E_z^2} \quad (2)$$

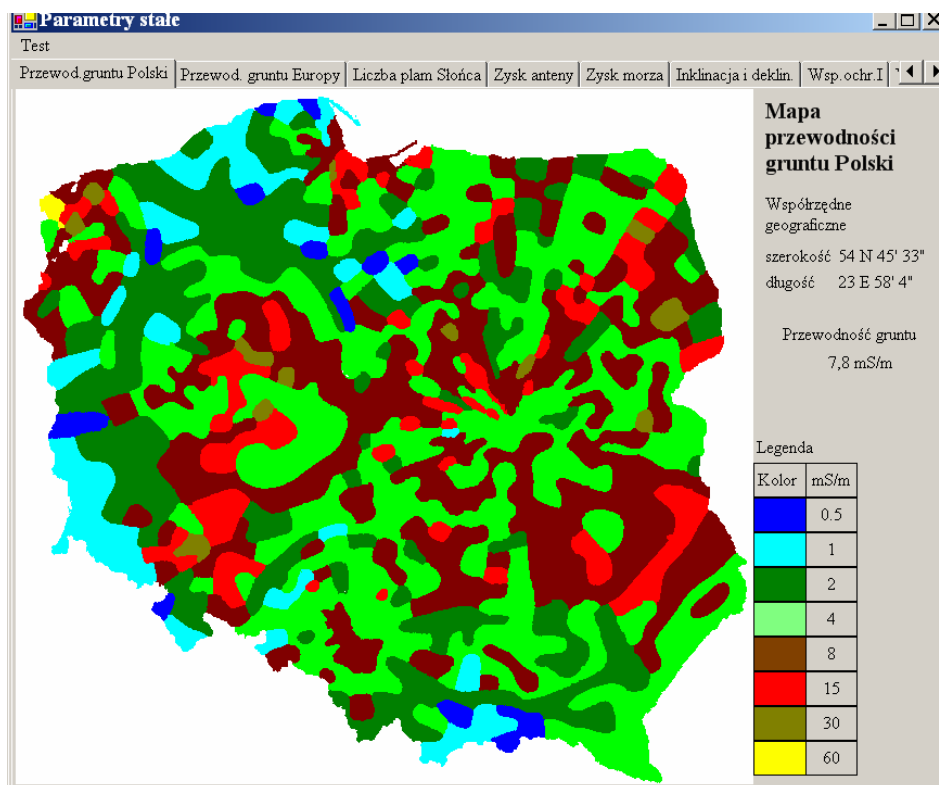
gdzie:

- E_{atm} – minimalne użyteczne natężenie pola ze względu na szumy atmosferyczne [dB (μ V/m)]
- E_{prz} – minimalne użyteczne natężenie pola ze względu na zakłócenia przemysłowe [dB (μ V/m)]
- E_z – minimalne użyteczne natężenie pola ze względu na zakłócenia od innych stacji [dB (μ V/m)]

Natężenia pola E_{atm} i E_{prz} pochodzą z zalecenia ITU-R P.372-8 i przy analizie każdego multipleksu podane zostały konkretne wartości wzięte pod uwagę w obliczeniach. Wartość E_z wylicza się jako suma zakłóceń od innych stacji wspólnie- i sąsiedniokanałowych z uwzględnieniem wartości współczynników ochronnych i wartości S/N wziętych z Tab.18 w zaleceniu ITU-R BS.1615.

W bazie danych programu AnaZas znajdują się lokalizacje i parametry stacji średnio- i długofalowych pochodzące z ITU. Ponadto, z programem zintegrowana jest mapa przewodności gruntu Polski z możliwością odczytania jej wartości dla dowolnego miejsca w kraju Rys. 4.22.

Wyniki obliczeń podawane są w postaci raportu tekstowego oraz w postaci graficznej jako mapa pokrycia terytorium Polski przez sygnał z poszczególnych nadajników biorących udział w analizie.



Rys. 4.22: Mapa przewodności gruntu w programie AnaZas

4.10.1 Dodatek B – Raport tekstowy z analizy wpływu stacji zakłócających na zasięg stacji Koszalin (mała moc: 5 kW)

----- Parametry_stacji_użytecznej:

Nazwa_stacji,_państwo = KOSZALIN POL DRM
 Lokalizacja,_sieć = 16E22, 54N01(16.36667, 54.01667),S
 Częstotliwość = 1206 kHz
 Moc = 5 kW
 Wysokość_anteny = 118 m
 Kod_wsp.ochronnego = A
 Kod_przewod.gruntu = 4

Parametry_trasy

Data_i_godzina_emisji_wg_czasu.UTC = 2006.12.23 godz.10.55
 Godzina_lokalna_i_pora_doby = godz.12.00 dzień
 Liczba_plam_na_Słońcu = 0
 Uwzględnienie_wpływu_morza = -
 Maksymalna_odległość_stacji_zakłócających = 3000 km
 Długość_trasy_fali_powierzchniowej = 300 km
 Długość_trasy_do_obliczeń = 200 km (20 punktów)
 Odległość_między_punktami = 10

Parametry_obliczeń

Zastosowanie_kryterium_mocowo-odległościowego = -
 Uwzględnienie_zakłóceń_atmosferycznych = +
 Uwzględnienie_zakłóceń_przemysłowych = +
 Rodzaj_uwzględnienia_fali_jonosferycznej = uwzględniono_falę_jonosferyczną.
 Rodzaj_terenu = wiejski

Współczynniki_ochronne_przed_zakłóceniami:

atmosferycznymi = 60
 przemysłowymi = 69
 własnej_stacji = 6
 własnej_stacji_synch. = 8
 Stacjami_zakłócającymi_ AM
 Poziom odległość_kanałowa_st.zakłócającej
 ochrony 0 -+9 -+18
 1 = 6,7 = -27,3 = -45,7

Stacjami_zakłócającymi_DRM

Nr_poziomu odległość_kanałowa_st.zakłócającej
 ochrony 0 -+9 -+18
 1 = 15,3 = -23,0 = -37,8

Data_wykonania_obliczeń = 01-12-06 pocz.= godz.11-14
 Liczba_stacji_zakłócających = 121 w_tym_stacji_AM = 0 stacji_DRM = 121

azymut [°]	moc pr. [dB]	zasięg [km]	Egr [dB/(1µV/m)]
0	7,0	16,9	69,6
10	7,0	16,5	69,6
20	7,0	16,8	69,6
30	7,0	16,4	69,6
40	7,0	16,3	69,6
50	7,0	17,0	69,6
60	7,0	16,9	69,7
70	7,0	17,8	69,7
80	7,0	18,2	69,7
90	7,0	18,7	69,7
100	7,0	19,0	69,7
110	7,0	19,0	69,7
120	7,0	18,6	69,7
130	7,0	18,9	69,7
140	7,0	18,7	69,7
150	7,0	18,5	69,7
160	7,0	18,5	69,8

170	7,0	19,1	69,8
180	7,0	18,5	69,8
190	7,0	18,8	69,8
200	7,0	18,7	69,8
210	7,0	18,9	69,8
220	7,0	19,0	69,8
230	7,0	18,4	69,8
240	7,0	18,8	69,8
250	7,0	18,5	69,8
260	7,0	18,9	69,8
270	7,0	19,0	69,8
280	7,0	18,8	69,8
290	7,0	18,7	69,7
300	7,0	19,1	69,7
310	7,0	17,8	69,7
320	7,0	17,2	69,7
330	7,0	17,1	69,6
340	7,0	17,1	69,6
350	7,0	16,8	69,6

Stacje zakłócające o największym natężeniu pola w miejscu lokalizacji stacji użytecznej 'KOSZALIN'

	nazwa stacji	natężenie pola	odl.od st.KOSZAL.	częst.	moc	współrzędne geograficzne	azymut od st.KOSZAL
1.	POL SZCZECIN	42,39	132	1206	160	14E34 53N30	244,83
2.	POL Toruń	41,04	186	1206	300	18E37 53N01	125,87
3.	POL Warszawa2	35,20	371	1206	1500	21E17 52N27	116,04
4.	HNG SZOLNOK	33,98	806	1188	1000	20E12 47N11	158,90
5.	D MUENCHEN ISMAN	32,59	717	1197	300	11E45 48N15	208,50
6.	POL Gdansk	31,88	146	1206	60	18E35 54N14	79,63
7.	POL Rzeszow	31,17	588	1206	300	21E58 50N00	137,13
8.	POL ZIELONA GORA	29,50	229	1206	60	15E07 52N06	201,90
9.	BUL VIDIN	29,04	1240	1224	1000	22E40 43N39	155,77
10.	POL Olsztyn	27,58	273	1206	60	20E32 53N51	92,20
11.	POL LUBLIN	26,98	542	1206	100	22E40 51N00	125,66
12.	POL Suwalki	26,77	397	1206	60	22E27 54N00	87,81
13.	S OESTERSUND	25,00	1017	1224	600	14E36 63N07	354,97
14.	ALB LUSHNJE	23,84	1474	1215	500	19E40 40N57	169,07
15.	BEL KORTRIJK	21,45	954	1188	150	3E17 50N49	253,43
16.	G MOORSIDE EDGE	20,65	1196	1215	100	1W54 53N38	275,38
17.	G BROOKMANS PARK	20,32	1136	1215	100	0W10 51N43	263,72
18.	G DROITWICH	19,70	1242	1215	50	2W06 52N18	268,68
19.	BLR MINSK	19,69	732	1197	50	27E34 53N56	86,19
20.	HNG SZOMBATHELY	19,63	758	1188	40	16E39 47N12	178,38
21.	F BORDEAUX	19,56	1557	1206	300	0W11 44N57	236,42
22.	EST TARTU	18,66	796	1215	50	26E35 58N23	48,29
23.	HOL MARKERWAARD	18,45	757	1224	40	5E14 52N33	262,08
24.	EST ORISSAARE	18,01	700	1215	30	23E30 58N56	35,77
25.	D REICHENBACH	16,57	338	1188	3	14E48 51N08	198,90
26.	POL BOLESŁAWIEC	15,89	319	1206	60	15E28 51N12	191,34
27.	G WASHFORD	13,81	1364	1215	60	3W21 51N10	264,61
28.	G WESTERGLLEN	13,03	1302	1215	40	3W50 55N58	287,76
29.	I GENOVA	11,88	1195	1188	20	8E55 44N25	209,77
30.	BLR MADEL	10,32	687	1197	5	26E54 54N53	77,68

----- Parametry_stacji_uzytecznej:

Nazwa_stacji,_państwo = KOSZALIN POL DRM
 Lokalizacja,_sieć = 16E22, 54N01(16.36667, 54.01667),S
 Częstotliwość = 1206 kHz
 Moc = 5 kW
 Wysokość_anteny = 118 m
 Kod_wsp.ochronnego = A
 Kod_przewod.gruntu = 4

Parametry_trasy

Data_i_godzina_emisji_wg_czasu.UTC = 2006.12.23 godz.10.55
 Godzina_lokalna_i_pora_doby = godz.12.00 dzień
 Liczba_plam_na_Słońcu = 0

```

Uwzględnienie_wpływu_morza = -
Maksymalna_odległość_stacji_zakłócających = 3000 km
Długość_trasy_fali_powierzchniowej = 300 km
Długość_trasy_do_obliczeń = 200 km (20 punktów)
Odległość_między_punktami = 10

Parametry_obliczeń
Zastosowanie_kryterium_mocowo-odległościowego = -
Uwzględnienie_zakłóceń_atmosferycznych = +
Uwzględnienie_zakłóceń_przemysłowych = +
Rodzaj_uwzględnienia_fali_jonosferycznej = uwzględniono_falę_jonosferyczną.
Rodzaj_terenu = wiejski

Współczynniki_ochronne_przed_zakłóceniami:
atmosferycznymi = 60
przemysłowymi = 69
własnej_stacji = 6
własnej_stacji_synch. = 8
Stacjami_zakłócającymi_ AM
Poziom odległość_kanałowa_st.zakłócającej
ochrony 0 -+9 -+18
1 = 6,7 = -27,3 = -45,7

Stacjami_zakłócającymi_DRM
Nr_poziomu odległość_kanałowa_st.zakłócającej
ochrony 0 -+9 -+18
1 = 15,3 = -23,0 = -37,8

Data_wykonania_obliczeń = 01-12-06 pocz.= godz.11-16
Liczba_stacji_zakłócających = 1 w_tym_stacji_AM = 0 stacji_DRM = 1

azymut moc pr. zasięg Egr
[°] [dB] [km] [dB/(1µV/m)]
0 7,0 17,0 69,5
10 7,0 16,6 69,5
20 7,0 16,9 69,5
30 7,0 16,5 69,5
40 7,0 16,4 69,5
50 7,0 17,1 69,5
60 7,0 17,0 69,5
70 7,0 18,0 69,5
80 7,0 18,4 69,5
90 7,0 18,9 69,5
100 7,0 19,1 69,5
110 7,0 19,2 69,5
120 7,0 18,8 69,5
130 7,0 19,0 69,5
140 7,0 18,9 69,5
150 7,0 18,7 69,5
160 7,0 18,7 69,5
170 7,0 19,3 69,5
180 7,0 18,7 69,5
190 7,0 19,0 69,5
200 7,0 18,9 69,5
210 7,0 19,1 69,5
220 7,0 19,3 69,5
230 7,0 18,6 69,5
240 7,0 19,1 69,5
250 7,0 18,7 69,5
260 7,0 19,2 69,5
270 7,0 19,2 69,5
280 7,0 19,0 69,5
290 7,0 18,9 69,5
300 7,0 19,3 69,5
310 7,0 17,9 69,5
320 7,0 17,3 69,5
330 7,0 17,2 69,5
340 7,0 17,2 69,5

```


350 7,0 16,9 69,5

4.10.2 Dodatek C - Raport tekstowy z analizy wpływu stacji zakłócających na zasięg stacji Koszalin (duża moc: 60 kW)

----- Parametry_stacji_użytecznej:

Nazwa_stacji,_państwo = KOSZALIN POL DRM
Lokalizacja,_sieć = 16E22, 54N01(16.36667, 54.01667),S
Częstotliwość = 1206 kHz
Moc = 60 kW
Wysokość_anteny = 118 m
Kod_wsp.ochronnego = A
Kod_przewod.gruntu = 4

Parametry_trasy

Data_i_godzina_emisji_wg_czasu.UTC = 2006.12.23 godz.10.55
Godzina_lokalna_i_pora_doby = godz.12.00 dzień
Liczba_plam_na_Słońcu = 0
Uwzględnienie_wpływu_morza = -
Maksymalna_odległość_stacji_zakłócających = 3000 km
Długość_trasy_fali_powierzchniowej = 300 km
Długość_trasy_do_obliczeń = 200 km (20 punktów)
Odległość_między_punktami = 10

Parametry_obliczeń

Zastosowanie_kryterium_mocowo-odległościowego = -
Uwzględnienie_zakłóceń_atmosferycznych = +
Uwzględnienie_zakłóceń_przemysłowych = +
Rodzaj_uwzględnienia_fali_jonosferycznej = uwzględniono_falę_jonosferyczną.
Rodzaj_terenu = wiejski

Współczynniki_ochronne_przed_zakłóceniami:

atmosferycznymi = 60
przemysłowymi = 69
własnej_stacji = 6
własnej_stacji_synch.= 8
Stacjami_zakłócającymi_ AM
Poziom odległość_kanałowa_st.zakłócającej
ochrony 0 +9 +18
1 = 6,7 = -27,3 = -45,7

Stacjami_zakłócającymi_DRM

Nr_poziomu odległość_kanałowa_st.zakłócającej
ochrony 0 +9 +18
1 = 15,3 = -23,0 = -37,8

Data_wykonania_obliczeń = 01-12-06 pocz.= godz.11-07
Liczba_stacji_zakłócających = 1 w_tym_stacji_AM = 0 stacji_DRM = 1

azymut	moc pr.	zasięg	Egr
[°]	[dB]	[km]	[dB/(1µV/m)]
0	17,8	28,7	69,5
10	17,8	28,9	69,5
20	17,8	29,3	69,5
30	17,8	28,9	69,5
40	17,8	28,4	69,5
50	17,8	32,1	69,5
60	17,8	32,5	69,5
70	17,8	33,4	69,5
80	17,8	33,8	69,5
90	17,8	33,7	69,5
100	17,8	33,9	69,5
110	17,8	33,9	69,5
120	17,8	33,7	69,5
130	17,8	33,6	69,5
140	17,8	33,4	69,5
150	17,8	34,0	69,5

160	17,8	33,9	69,5			
170	17,8	32,7	69,5			
180	17,8	31,6	69,5			
190	17,8	31,7	69,5			
200	17,8	30,7	69,5			
210	17,8	31,8	69,5			
220	17,8	31,9	69,5			
230	17,8	33,2	69,5			
240	17,8	33,0	69,5			
250	17,8	34,1	69,5			
260	17,8	33,8	69,5			
270	17,8	33,9	69,5			
280	17,8	34,0	69,5			
290	17,8	33,7	69,5			
300	17,8	34,1	69,5			
310	17,8	29,8	69,5			
320	17,8	29,7	69,5	49,6 - 60,8	69,5 - 69,5	
330	17,8	29,1	69,5	43,8 - 65,8	69,5 - 69,5	
340	17,8	29,0	69,5	49,2 - 61,4	69,5 - 69,5	
350	17,8	28,6	69,5			

----- Parametry_stacji_użytecznej:

Nazwa_stacji,_państwo = KOSZALIN POL DRM
 Lokalizacja,_sieć = 16E22, 54N01(16.36667, 54.01667),S
 Częstotliwość = 1206 kHz
 Moc = 60 kW
 Wysokość_anteny = 118 m
 Kod_wsp.ochronnego = A
 Kod_przewod.gruntu = 4

Parametry_trasy

Data_i_godzina_emisji_wg_czasu.UTC = 2006.12.23 godz.10.55
 Godzina_lokalna_i_pora_doby = godz.12.00 dzień
 Liczba_plam_na_Słońcu = 0
 Uwzględnienie_wpływu_morza = -
 Maksymalna_odległość_stacji_zakłócających = 3000 km
 Długość_trasy_fali_powierzchniowej = 300 km
 Długość_trasy_do_obliczeń = 200 km (20 punktów)
 Odległość_między_punktami = 10

Parametry_obliczeń

Zastosowanie_kryterium_mocowo-odległościowego = -
 Uwzględnienie_zakłóceń_atmosferycznych = +
 Uwzględnienie_zakłóceń_przemysłowych = +
 Rodzaj_uwzględnienia_fali_jonosferycznej = uwzględniono_falę_jonosferyczną.
 Rodzaj_terenu = wiejski

Współczynniki_ochronne_przed_zakłóceniami:

atmosferycznymi = 60
 przemysłowymi = 69
 własnej_stacji = 6
 własnej_stacji_synch. = 8
 Stacjami_zakłócającymi_ AM
 Poziom odległość_kanałowa_st.zakłócającej
 ochrony 0 -+9 -+18
 1 = 6,7 = -27,3 = -45,7

Stacjami_zakłócającymi_DRM

Nr_poziomu odległość_kanałowa_st.zakłócającej
 ochrony 0 -+9 -+18
 1 = 15,3 = -23,0 = -37,8

Data_wykonania_obliczeń = 01-12-06 pocz.= godz.11-10
 Liczba_stacji_zakłócających = 121 w_tym_stacji_AM = 0 stacji_DRM = 121

azymut	moc pr.	zasięg	Egr
[°]	[dB]	[km]	[dB/(1μV/m)]
0	17,8	28,6	69,6

10	17,8	28,7	69,6
20	17,8	29,1	69,6
30	17,8	28,8	69,6
40	17,8	28,2	69,6
50	17,8	31,8	69,7
60	17,8	32,2	69,7
70	17,8	33,1	69,7
80	17,8	33,4	69,7
90	17,8	33,2	69,8
100	17,8	33,4	69,8
110	17,8	33,5	69,8
120	17,8	33,2	69,8
130	17,8	33,1	69,8
140	17,8	32,9	69,8
150	17,8	33,5	69,8
160	17,8	33,4	69,8
170	17,8	32,4	69,8
180	17,8	31,3	69,7
190	17,8	31,4	69,7
200	17,8	30,3	69,7
210	17,8	31,4	69,8
220	17,8	31,5	69,8
230	17,8	32,7	69,9
240	17,8	32,4	69,9
250	17,8	33,3	69,9
260	17,8	33,0	69,9
270	17,8	33,2	69,9
280	17,8	33,4	69,9
290	17,8	33,2	69,8
300	17,8	33,6	69,8
310	17,8	29,6	69,7
320	17,8	29,6	69,6
330	17,8	29,0	69,6
340	17,8	28,9	69,6
350	17,8	28,5	69,6

Stacje zakłócające o największym natężeniu pola w miejscu lokalizacji stacji użytkowej 'KOSZALIN'

	nazwa stacji	natężenie pola	odl.od st.KOSZAL.	częst.	moc	współrzędne geograficzne	azymut od st.KOSZAL
1.	POL SZCZECIN	42,39	132	1206	160	14E34 53N30	244,83
2.	POL Toruń	41,04	186	1206	300	18E37 53N01	125,87
3.	POL Warszawa2	35,20	371	1206	1500	21E17 52N27	116,04
4.	HNG SZOLNOK	33,98	806	1188	1000	20E12 47N11	158,90
5.	D MUENCHEN ISMAN	32,59	717	1197	300	11E45 48N15	208,50
6.	POL Gdansk	31,88	146	1206	60	18E35 54N14	79,63
7.	POL Rzeszow	31,17	588	1206	300	21E58 50N00	137,13
8.	POL ZIELONA GORA	29,50	229	1206	60	15E07 52N06	201,90
9.	BUL VIDIN	29,04	1240	1224	1000	22E40 43N39	155,77
10.	POL Olsztyn	27,58	273	1206	60	20E32 53N51	92,20
11.	POL LUBLIN	26,98	542	1206	100	22E40 51N00	125,66
12.	POL Suwalki	26,77	397	1206	60	22E27 54N00	87,81
13.	S OESTERSUND	25,00	1017	1224	600	14E36 63N07	354,97
14.	ALB LUSHNJE	23,84	1474	1215	500	19E40 40N57	169,07
15.	BEL KORTRIJK	21,45	954	1188	150	3E17 50N49	253,43
16.	G MOORSIDE EDGE	20,65	1196	1215	100	1W54 53N38	275,38
17.	G BROOKMANS PARK	20,32	1136	1215	100	0W10 51N43	263,72
18.	G DROITWICH	19,70	1242	1215	50	2W06 52N18	268,68
19.	BLR MINSK	19,69	732	1197	50	27E34 53N56	86,19
20.	HNG SZOMBATHELY	19,63	758	1188	40	16E39 47N12	178,38
21.	F BORDEAUX	19,56	1557	1206	300	0W11 44N57	236,42
22.	EST TARTU	18,66	796	1215	50	26E35 58N23	48,29
23.	HOL MARKERWAARD	18,45	757	1224	40	5E14 52N33	262,08
24.	EST ORISSAARE	18,01	700	1215	30	23E30 58N56	35,77
25.	D REICHENBACH	16,57	338	1188	3	14E48 51N08	198,90
26.	POL BOLESŁAWIEC	15,89	319	1206	60	15E28 51N12	191,34
27.	G WASHFORD	13,81	1364	1215	60	3W21 51N10	264,61
28.	G WESTERGLEN	13,03	1302	1215	40	3W50 55N58	287,76
29.	I GENOVA	11,88	1195	1188	20	8E55 44N25	209,77

4.11 Podsumowanie

DRM (Digital Radio Mondiale) to system, który umożliwia powrót do wykorzystywania dla potrzeb radiofonii zakresów częstotliwości fal średnich (MF), długich (LF) i krótkich (HF). Zasadniczo poprawia się jakość odbioru w porównaniu z tradycyjną modulacją AM, gwarantuje większą szerokość pasma sygnału akustycznego, eliminuje skutki zaniku selektywnego i słyszalne zakłócenia powodowane przez inne stacje pracujące w tym samym paśmie. DRM oferuje jakość zbliżoną do radiofonii FM, znacznie lepszą niż konwencjonalna AM. DRM umożliwia budowę sieci stacji wykorzystujących tę samą częstotliwość nośną. Na świecie prowadzone są eksperymenty nadawcze systemu DRM, proponowane są także nowe zakresy częstotliwości powyżej 30 MHz umożliwiające emisję programów o jakości CD.

Polska dysponuje rezerwacją 123 lokalizacji stacji średnioletkowych, w tym 4 stacji dużej mocy, pracujących na 18 częstotliwościach. Zasoby te nie są aktualnie wykorzystywane. Emisja za pomocą systemu DRM programów na falach średnich stanowi dla nadawców najtańszy sposób transmisji zarówno w przypadku stosowania sieci ogólnokrajowych jak i emisji lokalnych.

Symulacje zasięgów przeprowadzone za pomocą programu AnaZas prowadzą do innych wyników niż symulacje przedstawione w dokumencie URTiP. Zasięgi uzyskane przez URTiP nie zostały uzyskane w żadnym z badanych przypadków ani dla oryginalnych wartości mocy promieniowania nadajników (duże moce) ani dla mocy zredukowanych by otrzymać moc sumacyjną proponowaną w dokumencie.

Uwzględnienie zakłóceń przemysłowych i atmosferycznych daje znacznie mniejsze zasięgi w porównaniu z zasięgami z analizy URTiP. Według zaleceń ITU-R są to najistotniejsze zakłócenia, jakie należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu oraz szacowaniu zasięgów stacji radiofonicznych na falach średnich

Lokalizacje stacji do symulacji nie zostały ściśle określone w dokumencie i te, które użyto do symulacji mogą być niewłaściwe. Jednakże ich wybór był dokonywany w oparciu o położenie wykresu zasięgu na mapach URTiP oraz w trosce o najlepsze pokrycie obszaru Polski sygnałem radiofonicznym.

W niniejszej analizie uwzględniono wpływ stacji zakłócających w systemie AM. Nie rozważano sytuacji, kiedy sieć zakłócających stacji średniofalowych pracuje w systemie DRM. Wpływ stacji uznano za mały w porównaniu z zakłóceniami innego typu.

W niniejszym opracowaniu nie weryfikowano zasięgów wszystkich multipleksów proponowanych przez URTiP. Wyniki uzyskane z symulacji kilku pierwszych były rozbieżne z tymi, które zamieszczono w dokumencie. Można więc przypuszczać, że w przypadku kolejnych multipleksów wyniki również nie będą się pokrywały.

Zakresy częstotliwości radiowych poniżej 30 MHz charakteryzuje możliwość uzyskania dużych zasięgów stacji, a ponadto możliwość odbioru za pomocą urządzeń ruchomych i przenośnych ze względnie małym pogorszeniem powodowanym przez najbliższe otoczenie anteny odbiornika.

Z tych względów, mimo zależności warunków odbioru od pory doby, pory roku i 11-letniego cyklu plam na Słońcu, nadawanie programów radiofonicznych w tych pasmach powinno być kontynuowane. Dla zastosowań takich jak nadawanie programów za granicę wykorzystanie pasm HF jest jedynym sposobem nie wymagającym użycia lokalnych stacji retransmitujących program.

4.12 Definicje

DRM (Digital Radio Mondiale) – wąskopasmowy system radiofonii cyfrowej, opracowany do zastąpienia w pasmach częstotliwości poniżej 30 MHz konwencjonalnej modulacji amplitudowej;

Multiplex – multipleks, strumień wszystkich danych przenoszących jedną lub kilka usług w jednym kanale fizycznym.

broadcasting service – radiofonia, – służba radiokomunikacyjna, której transmisje są przeznaczone do bezpośredniego odbioru przez ogół ludności.

Uwaga. Ta definicja obejmuje transmisję dźwięku, transmisję telewizji lub inne rodzaje transmisji.

modulacja amplitudy, AM (amplitude modulation), w niniejszym opracowaniu czym jako modulację amplitudy rozumie się analogową konwencjonalną dwuwstęgową modulację z pełnym poziomem fali nośnej (*ang. Double-Sideband, DSB*).

Alternative Frequency Switching (AFS) – cecha multipleksu DRM, która umożliwia automatyczne przestrojenie odbiornika na częstotliwość oferującą bardziej niezawodny odbiór bez przerywania dekodowanego sygnału audio.

Fast Access Channel (FAC) – szybki kanał dostępu, kanał w strumieniu danych multipleksu, który zawiera informacje konieczne do odnalezienia usług i rozpoczęcia dekodowania multipleksu.

Main Service Channel (MSC) – kanał usługi głównej, kanał w strumieniu danych multipleksu, który zajmuje większą część ramki transmisyjnej i który przenosi wszystkie cyfrowe usługi audio wraz z możliwymi pomocniczymi i dodatkowymi usługami danych.

Service Description Channel (SDC) – kanał opisu usługi kanał o strumieniu danych multipleksu, który podaje informacje do dekodowania usług zawartych w multipleksie, a także dodatkowe informacje umożliwiające odbiornikowi znalezienie alternatywnych źródeł tych samych danych (alternatywnych częstotliwości).

Single Channel Simulcast (SCS) – jednoczesne nadawanie we wspólnym kanale wersji analogowej (sygnału AM-DSB) i wersji cyfrowej (DRM) tego samego programu radiowego.

Single Frequency Network (SFN) – sieć nadajników wykorzystujących tą samą częstotliwość radiową dla pokrycia dużego obszaru.

Synchronized Multi-Frequency Network (SMFN) – sieć nadajników obsługujących duży obszar geograficzny przy wykorzystaniu różnych częstotliwości radiowych, czyli sieć MFN, której nadajniki są synchronizowane w czasie.

Multi-Frequency Network (MFN) – sieć nadajników obsługujących duży obszar geograficzny przy wykorzystaniu różnych częstotliwości radiowych.

4.13 Bibliografia

- [1] Analiza możliwości cyfryzacji radiofonii w zakresach częstotliwości poniżej 30 MHz w Polsce” – Urząd Regulacji Telekomunikacji i Poczty, 2005 r.
- [2] Opracowanie i wdrożenie oprogramowania do analizy propagacyjno-sieciowej w radiofonii rozsiewczej pracującej w systemie DRM w zakresie fal średnich i długich” – A. Dusiński, E. Wielowieyska; Instytut Łączności, Warszawa 2005 r.

- [3] Final Acts of the Regional Administrative LF/MF Broadcasting Conference (Regions 1 and 3)" Geneva 1975, ITU, Geneva, 1976.
- [4] <http://www.drm.org/>
- [5] Rec. ITU-R BS.1514-1. System for digital broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz.
- [6] ITU-R BS.1661 "Signal-on-the-air" specifications of the digital system described in Annex 1 to Recommendation ITU-R BS.1514 for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz.
- [7] Rec. ITU-R BS.1615. "Planning parameters" for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz.
- [8] S. A. Johnson. The structure and generation of robust waveform for AM in band on channel digital broadcasting. ??
- [9] IEC 67272-1. Digital Radio Mondiale (DRM) Part. 1: System Specification.
- [10] Analiza możliwości cyfryzacji radiofonii w zakresach częstotliwości poniżej 30 MHz w Polsce III etap prac Zespołu ds. naziemnej radiodifuzji cyfrowej, URTIP, 2005.
- [11] iBiquity Digital Corporation. Nov. 2001. IBOC AM transmission Specification. Rev. 01.
- [12] Rec. ITU-R BS.639. Necessary bandwidth of emission in LF, MF and HF broadcasting.
- [13] Rec. ITU-R BS.597-1. Channel spacing for sound broadcasting in band 7 (HF).
- [14] IEEE Transactions on broadcasting, vol. 49, no. 3, Sep. 2003. Digital Radio Mondiale (DRM) Digital Sound Broadcasting in the AM Bands. F. Hofmann, Ch. Hansen, W. Schäfer.
- [15] ETSI TS 102 821 V1.2.1 (2005-10). Digital Radio Mondiale (DRM); Distribution and Communications Protocol (DCP).
- [16] ETSI TS 102 358 V1.1.1 (2005-01). Digital Radio Mondiale (DRM); Specific Restrictions for the use of the Distribution and Communication Protocol (DCP).
- [17] ETSI TS 102 349 V1.2.1 (2005-11). Digital Radio Mondiale (DRM); Receiver Status and Control Interface (RSCI).

- [18] ETSI ES 201 980 V2.2.1 (2005-10). Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification.
- [19] ETSI TS 102 509 V1.1.1 (2006-05). Digital Radio Mondiale (DRM); Single Channel Simulcast (SCS).
- [20] ETSI TS 102 386 V1.2.1 (2006-03). Digital Radio Mondiale (DRM); AM signalling system (AMSS).
- [21] ETSI TS 102 820 V1.2.1 (2005-10). Digital Radio Mondiale (DRM); Multiplex Distribution Interface (MDI).
- [22] ETSI TS 101 968 V1.2.1 (2004-02). Digital Radio Mondiale (DRM); Data applications directory.
- [23] ETSI TS 102 818 V1.3.1 (2006-02). Digital Audio Broadcasting (DAB); Digital Radio Mondiale (DRM); XML Specification for DAB Electronic Programme Guide (EPG).
- [24] ETSI TS 102 371 V1.2.1 (2006-02). Digital Audio Broadcasting (DAB); Digital Radio Mondiale (DRM); Transportation and Binary Encoding Specification for Electronic Programme Guide (EPG).
- [25] ETSI EN 302 245-1 V1.1.1 (2005-01). Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting service; Part 1: Technical characteristics and test methods.
- [26] ETSI EN 302 245-2 V1.1.1 (2005-01). Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting service; Part 2: Harmonized EN under article 3.2 of the R&TTE Directive.
- [27] ETSI EN 301 489-1 V1.6.1. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Electromagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 1: Common technical requirements.
- [28] ETSI EN 301 489-11 V1.3.1 (2006-05). Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 11: Specific conditions for terrestrial sound broadcasting service transmitters.

- [29] PN-EN 60215:2003. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa radiowych urządzeń nadawczych.

Uwaga: Norma PN-EN 60215 stanowi, że maksymalne poziomy gęstości mocy nie mogą przekraczać wartości granicznych określonych w przepisach danego kraju.

- [30] PN-EN 60950-1:2004. Urządzenia techniki informatycznej. Bezpieczeństwo. Część 1: Wymagania podstawowe. (Identyczna z EN 60950-1:2001).

5. Współpraca z Międzyresortowym Zespołem ds. Wprowadzenia Telewizji i Radiofonii Cyfrowej w Polsce

W roku 2006 reaktywowano Zespół Międzyresortowy ds. Wprowadzenia Telewizji i Radiofonii Cyfrowej w Polsce, którego prace w roku 2005 zakończyło przyjęcie przez Rząd 4 maja 2005 roku Strategii cyfryzacji w zakresie telewizji naziemnej. Strategia obejmowała zakres działań i harmonogram prac, których celem było uruchomienie naziemnej telewizji cyfrowej i wyłączenie emisji analogowej. Gdyby zatwierdzony harmonogram zrealizowano, obecnie, w roku 2006, wydane by były pierwsze rezerwacje częstotliwości i uruchamiane byłyby pierwsze regularne emisje DVB-T. Przygotowaniem Rozporządzenia w sprawie konkursu na multipleksy cyfrowe oraz przeprowadzeniem konkursu miała zająć się KRRiT. W lipcu 2005, po zatwierdzeniu Strategii, nadawcy prywatni (TVN, Polsat) rozpoczęli propagowanie w środowisku koncepcji uruchomienia emisji naziemnej DVB-T w standardzie kompresji MPEG-4 AVC argumentując to możliwością umieszczenia w jednym multipleksie większej liczby programów TV. KRRiT podjęła tę koncepcję i rozpoczęła w środowisku konsultacje w sprawie takiego przygotowania Rozporządzenia konkursowego, by mogło ono zawierać zasadę emisji na bazie kompresji MPEG-4 AVC. Wskutek tego zaniechano przygotowania Rozporządzenia w terminach przyjętych w Strategii a trwające przygotowania i konsultacje przeciągnęły się do grudnia 2005, gdy nastąpiła zmiana Prawa Telekomunikacyjnego i odwołanie ustawowe członków KRRiT oraz przekazanie kompetencji przeprowadzania postępowań konkursowych w sprawie cyfrowej radiodifuzji naziemnej do Prezesa UKE. Spowodowało to kolejne opóźnienia i dezaktualizację harmonogramu i założeń Strategii. W połowie 2006 nastąpiła reaktywacja działań Zespołu Międzyresortowego i przystąpiono do nowelizacji Strategii. W tym celu wysłano zapytania do wszystkich zainteresowanych z prośbą o opinię na temat nowelizacji Strategii. Instytut

Łączności w ramach realizacji działań statutowych dotyczących cyfryzacji radiofonii i telewizji przygotował w ramach niniejszej pracy opinię. Znajduje się ona w Załączniku 1. Po zebraniu opinii na temat nowelizacji, Minister Transportu, pełniący wiodącą rolę w Zespole Międzyresortowym, przygotował i przedstawił propozycję założeń nowej Strategii. Dokument ten znajduje się w Załączniku 2. Również ten dokument poddano konsultacji społecznej, w ramach której Instytut Łączności przygotował kolejną opinię (Załącznik 3) oraz przedstawił własną koncepcję okresu przejściowego jako załącznik do tej opinii. W proponowanej koncepcji okresu przejściowego zaproponowano uruchomienie 1 multipleksu ogólnopolskiego niekolidującego z przydziałami analogowymi, a następnie konwersję przydziałów analogowych na cyfrowe w następującej kolejności wynikającej z najkorzystniejszego technicznie pozyskiwania kanałów: TVP2, TVP3, TVP1. W kanałach analogowych mogłyby być uruchamiane kolejne multipleksy cyfrowe. Propozycja ta spotkała się pod koniec 2006 roku z krytyką ze strony KRRiT, która stoi na stanowisku, że nie należy społeczeństwa pozbawiać zasięgu analogowego programów Telewizji Publicznej, którego oglądanie mają zagwarantowane dzięki opłacaniu abonamentu. Jeśli Zespół Międzyresortowy podzieli stanowisko KRRiT, a prawdopodobnie się tak stanie, konieczne będzie wrócenie do poprzedniego modelu przekazywania kanałów – na bazie wymuszonej konwersji wyspowej, lub przeanalizowania możliwości dokonania konwersji na bazie ogólnopolskiej sieci prywatnej – sieci Polsat.

Przedstawione działania Instytutu Łączności spotkały się ze sporym zainteresowaniem członków Zespołu Międzyresortowego o czym świadczą zarówno opinie krytyczne jak i pozytywne. Ponieważ w roku 2007 planowana jest nowelizacja Strategii na bazie dalszych prac i opinii, także tych przygotowywanych i prowadzonych w Instytucie Łączności, udział w tego typu działaniach powinien być kontynuowany.

6. Podsumowanie

Prowadzone prace badawcze Instytutu Łączności z zakresu radiodifuzji cyfrowej w znacznym stopniu pomagają w przygotowaniu i realizacji procesu cyfryzacji radiofonii i telewizji w Polsce. Instytut Łączności jako jedyna placówka naukowa w kraju zaangażowana jest w tę działalność uczestnicząc na bieżąco w pracach Zespołu Międzyresortowego i przygotowując stosowne analizy i opinie, współpracując z UKE w przygotowywaniu i międzynarodowym uzgadnianiu kanałów częstotliwości dla DVB-T i T-

DAB/T-DMB. Prace te należy kontynuować nie tylko ze względu na ich zbieżność z tematyką prac statutu Instytutu Łączności, ale także ze względu na ich bieżącą użyteczność dla Administracji kraju: Zespołu Międzyresortowego, Ministerstwa Transportu, Ministerstwa Kultury, KRRiT i UKE oraz wysokim zainteresowaniem operatorów i nadawców skutkującym podejmowaniem prac rynkowych.

Stosowane akronimy

ACI	interferencje w kanale sąsiednim (ang. Adjacent Channel Interference)
AFS	Alternative Frequency Switching
AM	Amplitude Modulation
BER	bitowa stopa błędów (ang. Bit Error Rate)
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations;
COFDM	kodowane ortogonalne zwielokrotnienie częstotliwościowe (ang. Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
C/N	Stosunek sygnału do szumu (ang. Carrier-to-Noise Ratio)
C/I	Stosunek sygnału do zakłócenia, współczynnik ochronny (ang. Carrier-to-
CRC	Cyclic Redundancy Check
DAB	Digital Audio Broadcasting
DCP	Distribution and Communication Protocol
DRM	Digital Radio Mondiale
DVB	nadawanie cyfrowych sygnałów wizyjnych (ang. Digital Video Broadcasting)
DVB-T	naziemne DVB (ang. DVB-Terrestrial)
ETS	europejska norma telekomunikacyjna (ang. European Telecommunication Standard)
DSB	Double Side-Band
FAC	Fast Access Channel
FEC	korekcja błędów w przód (ang. Forward Error Correction)
FM	frequency modulation
H.264	standard kompresji wizji tożsamy z MPEG-4 AVC
HDTV	telewizja o dużej rozdzielczości (ang. High Definition TeleVision)
HF	High Frequency
HVXC	Harmonic Vector eXcitation Coding
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ITU-R	International Telecommunications Union-Radiocommunications Standardization Sector)
LF	Low Frequency
MCI	Modulator Control Interface

MDI	Multiplex Distribution Interface
MF	Medium Frequency
MFN	sieć wieloczęstotliwościowa (ang. Multi Frequency Network)
MPEG	grupa ekspertów do spraw obrazów ruchomych (ang. Moving Picture Experts Group)
MPEG2	Standard kompresji wizji i fonii opisany w normie ISO/IEC 13818
MPEG4 AVC	MPEG4 Advanced Video Coding, standard kompresji wizji opisany w normie ISO/IEC 14496-10
MSC	Main Service Channel
OFDM	ortogonalne zwielokrotnienie częstotliwościowe (ang. Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
QAM	modulacja kwadraturowa amplitudy (ang. Quadrature Amplitude Modulation)
QPSK	modulacja z czterostanowym kluczowaniem przesunięcia fazy (ang. Quaternary Phase Shift Keying)
RF	częstotliwość radiowa (ang. Radio Frequency)
RS	Reed-Solomon (kod cyfrowy)
RSCI	Receiver Status Control Interface
SCS	Single Channel Simulcast
SDC	Service Description Channel
SDI	Service Distribution Interface
SDTV	telewizja o standardowej rozdzielczości (ang. Standard Definition TeleVision)
SFN	sieć jednoczęstotliwościowa (ang. Single Frequency Network)
SMFN	Synchronizowana sieć wieloczęstotliwościowa (Synchronized Multi-Frequency Network)
TV	telewizja (ang. TeleVision)
TVA	telewizja analogowa
UVF	częstotliwość ultra-wysoka (ang. Ultra-High Frequency)
VHF	częstotliwość bardzo-wysoka (ang. Very-High Frequency)

Załączniki

Załącznik 1: Stanowisko IŁ w sprawie nowelizacji strategii

Załącznik 2: Propozycja nowelizacji Strategii (Ministerstwo Transportu)

Załącznik 3: Stanowisko IŁ w sprawie propozycji MT