



**INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI**  
**PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

**Zakład Systemów Radiowych w Warszawie (Z-1)**

**Zakład Systemów i Sieci Bezprzewodowych w Gdańsku (Z-8)**

**Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej we Wrocławiu (Z-21)**

## **Zarządzanie częstotliwościami radiowymi i inżynieria widma**

*Raport Z21/21300014/95/2014*

*Praca 013000014 (Z-1)*

*Praca 083000034 (Z-8)*

*Praca 213000014 (Z-21)*



**Metryka dokumentu**

Nr pracy	:	Z-1 013000014, Z-8 083000034, Z-21 213000014		
Nazwa pracy	:	Zarządzanie częstotliwościami radiowymi i inżynieria widma		
Zleceniodawca	:	Praca Statutowa		
Data rozpoczęcia	:	Styczeń 2014 r.		
Data zakończenia	:	Grudzień 2014 r.		
Słowa kluczowe	:	Zarządzanie widmem, inżynieria widma, systemy ARNS, radiokomunikacja morska, telewizja DVB-T, radio kognitywne, systemy ISM, współczynniki ochronne,		
Kierownik pracy	:	dr inż. Janusz Sobolewski		
Kierownik Zadania		dr inż.	Jerzy Żurek	Z-8
Kierownik Zadania		mgr inż.	Aleksander Orłowski	Z-1
Kierownik Zadania		dr inż.	Dariusz Więcek	Z-21
Kierownik Zadania		mgr inż.	Marek Michalak	Z-21
Kierownik Zadania		dr inż.	Maciej Grzybowski	Z-21
Wykonawca pracy		mgr inż.	Marek Jermakowicz	Z-21
Wykonawca pracy		dr inż.	Krzysztof Maniak	Z-21
Wykonawca pracy		mgr inż.	Rafał Michniewicz	Z-21
Wykonawca pracy		mgr inż.	Daniel Niewiadomski	Z-21
Wykonawca pracy		prof. dr hab.	Ryszard Strużak	Z-21
Wykonawca pracy		mgr inż.	Monika Szafrąńska	Z-21
Wykonawca pracy		dr inż.	Jacek Wroński	Z-21
Wykonawca pracy		mgr inż.	Dariusz Wypiór	Z-21
Wykonawca pracy		mgr inż.	Elżbieta Tomaszuk	Z-1
Wykonawca pracy		inż.	Arkadiusz Staszak	Z-1
Wykonawca pracy			Ewa Wielowiejska	Z-1

Praca wykonana w Zakładzie Systemów Radiowych w Warszawie (Z-1) – Kierownik Zakładu mgr inż. Elżbieta Tomaszuk;

Zakładzie Systemów i Sieci Bezprzewodowych w Gdańsku (Z-8) – Kierownik Zakładu dr inż. Krzysztof Bronk;

W Pracowni Badania Pól i Zaburzeń - Kierownik Pracowni mgr inż. Marek Michalak

i w Pracowni Gospodarki i Inżynierii Widma – Kierownik Pracowni dr inż. Dariusz Więcek

Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej (Z-21) - Kierownik Zakładu dr inż. Janusz Sobolewski

Niniejsze opracowanie może być powielane i publikowane wyłącznie w całości

Powielanie i publikowanie fragmentów wymaga uzyskaniu zgody Instytutu Łączności

© Copyright by Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy,

Gdańsk Warszawa, Wrocław 2014





**SPIS TREŚCI**

<b>1</b>	<b>WPROWADZENIE .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OCENA MOŻLIWOŚCI TECHNICZNYCH URUCHOMIENIA KOLEJNYCH MULTIPLEKSÓW TELEWIZJI NAZIEMNEJ W POLSCE.....</b>	<b>11</b>
2.1	PODSTAWY TECHNICZNE I REGULACYJNE PASMA TELEWIZYJNEGO UHF.....	12
2.2	AKTUALNY STAN PLANÓW I REALIZACJI SIECI MULTIPLEKSÓW .....	14
2.3	REORGANIZACJA PASMA Z WYKORZYSTANIEM MUX 5 I MUX 6.....	21
2.4	MOŻLIWOŚCI URUCHOMIENIA KOLEJNYCH MULTIPLEKSÓW NA BAZIE PLANU GE06.....	22
2.5	OCENA SKUTKÓW DYSKUTOWANYCH PROPOZYCJI W SPRAWIE PRZYSZŁYCH PRZEZNACZEŃ PASMA 700 MHz DLA SYSTEMÓW MOBILNYCH (TZW. DRUGA DYWIDENDA CYFROWA).....	25
2.6	PODSUMOWANIE .....	25
2.7	LITERATURA .....	26
<b>3</b>	<b>ZARZĄDZANIE WIDMEM W RADIOWYCH SYSTEMACH MORSKICH .....</b>	<b>28</b>
3.1	PRZEGLĄD, ANALIZA NOWYCH SYSTEMÓW POPRAWIAJĄCYCH BEZPIECZEŃSTWO NA MORZU WSTĘP .....	28
3.1.1	<i>Nowy GMDSS.....</i>	28
3.1.2	<i>System MoB.....</i>	31
3.1.3	<i>System NAVDAT.....</i>	32
3.1.4	<i>Nowy urządzenia AIS i segment satelitarny AIS (SAT-AIS).....</i>	33
3.1.5	<i>VDE i VDES.....</i>	34
3.1.6	<i>Terminale typu andheld VHF-DSC, UHF 400 MHz i SatCom.....</i>	35
3.1.7	<i>Systemy transmisji danych w morskich pasmach MF/HF (MF/HF e-mail).....</i>	35
3.1.8	<i>System transmisji danych w morskim paśmie VHF (VHF Data).....</i>	36
3.1.9	<i>Podsystem EPIRB 406 MHz - MEO SAR.....</i>	36
3.1.10	<i>Cyfrowa transmisja sygnałów mowy.....</i>	36
3.1.11	<i>Nowe systemy radarów nawigacyjnych.....</i>	37
3.2	E-NAWIGACJA – POTRZEBY WIDMOWE.....	37
3.3	STANOWISKO IMO W ZAKRESIE GOSPODARKI WIDMOWEJ NA WRC15 .....	38

<b>4</b>	<b>KOMPATYBILNOŚĆ SYSTEMÓW ARNS I DVB-T W PAŚMIE II DYWIDENDY CYFROWEJ .....</b>	<b>40</b>
4.1	WSTĘP.....	40
4.2	WYKORZYSTANIE CZĘSTOTLIWOŚCI W SYSTEMIE DVB-T.....	42
4.3	WYKORZYSTANIE CZĘSTOTLIWOŚCI W SYSTEMIE LTE.....	45
<b>4.4</b>	<b>SYSTEMY RADIONAWIGACJI LOTNICZEJ .....</b>	<b>48</b>
4.4.1	<i>Radary pierwotne .....</i>	<i>48</i>
4.4.2	<i>Radary wtórne .....</i>	<i>49</i>
4.4.3	<i>Radiowe systemy bliskiej nawigacji (RSBN).....</i>	<i>50</i>
4.4.4	<i>Charakterystyki kierunkowe anten urządzeń ARNS.....</i>	<i>52</i>
4.4.5	<i>Typowe parametry ARNS w zakresie 645-862 MHz .....</i>	<i>55</i>
4.5	SCENARIUSZE ZAKŁÓCEŃ ARNS.....	60
4.5.1	<i>Przyjęte założenia.....</i>	<i>60</i>
4.5.2	<i>Obliczanie mocy zakłóceń .....</i>	<i>62</i>
4.5.3	<i>Dopuszczalny poziom zakłócenia .....</i>	<i>63</i>
4.5.4	<i>Wymagana separacja .....</i>	<i>66</i>
4.6	KOMPATYBILNOŚĆ SŁUŻB DRUGIEJ WAŻNOŚCI.....	68
4.7	PODSUMOWANIE .....	68
4.8	AKRONIMY .....	70
4.9	LITERATURA .....	72
<b>5</b>	<b>ARANŻACJA CZĘSTOTLIWOŚCI W PAŚMIE II DYWIDENDY DLA POTRZEB SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA PUBLICZNEGO .....</b>	<b>74</b>
5.1	MOŻLIWOŚCI IMPLEMENTACJI SYSTEMÓW PPDR W PAŚMIE II DYWIDENDY .....	74
5.2	ESTYMACJA ZASOBÓW WIDMOWYCH W PAŚMIE II DYWIDENDY NIEZBĘDNYCH DLA SYSTEMÓW RRL.....	80
5.3	LITERATURA .....	81
<b>6</b>	<b>OCENA WARUNKÓW PRACY PRZYSZŁYCH SIECI WI-FI W PASMACH ISM 83</b>	
6.1	LITERATURA .....	84
<b>7</b>	<b>URZĄDZENIA PRACUJĄCE W TZW. BIAŁYCH PRZESTRZENIACH - ZAGADNIENIA EMC.....</b>	<b>85</b>

7.1	POZIOM ZABURZEŃ HARMONICZNYCH.....	85
7.2	INTERMODULACJE .....	91
7.3	PODSUMOWANIE CZĘŚCI POŚWIĘCONEJ ZABURZENIOM NIELINIOWYM.....	95
7.4	OMÓWIENIE NORMY ETSI EN 301598 v.1.1.1 (2014-04) .....	95
7.4.1	<i>Limity</i> .....	96
7.4.1.1	Emisja poza pasmem DTT .....	96
7.4.1.2	Emisja zaburzeń przy pracy TVWSD w trybie odbiornika.....	96
7.4.1.3	Badanie charakteru emisji zaburzeń w pasmie i poza pasmem DTT.....	97
7.4.1.4	Emisja niepożądana w paśmie cyfrowej telewizji naziemnej .....	98
7.4.1.5	Tłumienie intermodulacji wstecznej nadajnika.....	101
7.4.2	<i>Sterowanie, monitoring, geolokalizacja, ograniczenie dostępu, bezpieczeństwo</i> <i>101</i>	
7.4.3	<i>Metody badań</i> .....	102
7.4.3.1	Warunki normalne i ekstremalne .....	102
7.4.3.2	Anteny .....	102
7.4.3.3	Pomiar emisji zaburzeń w komorze GTEM.....	102
7.4.3.4	Tryby pracy .....	103
7.4.3.5	Wymagania dotyczące testowej modulacji .....	104
7.4.4	<i>Komunikacja z TVWSDB</i> .....	104
7.4.5	<i>Parametry pracy</i> .....	104
7.4.6	<i>Interpretacja wyników badań</i> .....	104
7.4.7	<i>Miejsce i warunki pomiarów</i> .....	105
7.4.8	<i>Pozostałe ustalenia normy</i> .....	105
7.4.9	<i>Załączniki do normy</i> .....	105
7.5	BADANY OBIEKT - UWAGI.....	106
7.6	PODSUMOWANIE .....	107
7.7	LITERATURA .....	107
<b>8.</b>	<b>ZAKOŃCZENIE</b> .....	<b>108</b>
	<b>ZAŁĄCZNIK: STRESZCZENIE REFERATU WYGŁOSZONEGO NA</b> <b>KONFERENCJI KKRRIT2014</b> .....	<b>110</b>

## 1 Wprowadzenie

W ostatnich latach wyraźnie zauważalny stał się deficyt dostępnego widma radiowego, jak i problem sprawnego nim zarządzania.

Wyniki Regionalnej Konferencji Radiokomunikacyjnej ITU GE06 stworzyły podstawy uruchomienia multipleksów naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T/DVB-T2. W Polsce uruchomiono dotychczas cztery multipleksy DVB-T, a są podmioty zainteresowane kolejnymi multipleksami (MUX). Uruchomienie kolejnych MUX-ów napotyka na trudności, a jeszcze dodatkowo najprawdopodobniej nastąpi przekazanie całości lub części pasma 700 MHz (2. dywidenda cyfrowa, zakres 694 – 790 MHz) na potrzeby systemów ruchomych. Nie są dotychczas zbadane konsekwencje utraty pasma 700 MHz, a w konsekwencji utraty 12 kanałów telewizyjnych oraz możliwości uruchamiania w takim przypadku kolejnych multipleksów. W związku z proponowanym przeznaczeniem całości lub części pasma 700 MHz dla potrzeb radiokomunikacji ruchomej powstaje kwestia kompatybilności systemów, które pojawią się w tym paśmie z systemami dotychczas tam użytkowanymi tj. z telewizją cyfrową (DVB-T), radionawigacją lotniczą (ARNS) oraz takimi zastosowaniami jak np. systemy reporterskie PMSE (SAB/SAP). Zagadnienia te są przedmiotem prac różnych grup roboczych ITU-R i CEPT. Odrębną kwestią pozostaje problem zagospodarowania (i harmonizacji) zakresu 694 – 790 MHz przez systemy ruchome, takie jak systemy komórkowe (LTE?), systemy ochrony bezpieczeństwa publicznego i akcji pomocy w przypadku klęsk żywiołowych PPDR, czy systemy wzajemnej komunikacji pomiędzy urządzeniami M2M.

Obserwuje się stały rozwój systemów wykorzystywanych w radiokomunikacji morskiej. Toczą się prace nad nowymi systemami poprawiającymi bezpieczeństwo nawigacji. Występują nowe potrzeby widmowe np.: dla e-Nawigacji.

W odniesieniu do możliwości zmiany parametrów emisyjnych przyszłych systemów w paśmie ISM (Industrial, Scientific, Medical) konieczne jest przeanalizowanie problemów regulacyjnych oraz efektów w postaci możliwości występowania zakłóceń interferencyjnych. Obecnie z części tych zakresów korzystają systemy bezprzewodowej transmisji danych, np. WiFi oraz Bluetooth

Jak wspomniano powyżej, otwarcie pasm dywidend cyfrowych wymaga prowadzenia nowych prac kompatybilnościowych z systemami dotychczas tam użytkowanymi tj. z DVB-T, ARNS oraz PMSE (SAB/SAP). W przypadku Polski, ze względu na sąsiedztwo z krajami byłego ZSRR, zagadnieniem wymagającym szczegółowej analizy jest kwestia ochrony ARNS

przed zakłóceniami ze strony stacji pracujących w sieciach ruchomych (LTE / LTE-Advanced). Istnieje ponadto potrzeba oszacowania odległości separacyjnej pomiędzy lokalizacjami stacji ARNS i stacji sieci ruchomych.

Analiz takich wymaga również wprowadzenie nowych, naziemnych systemów transmisji danych w służbie morskiej. Możliwość zwiększenia efektywności wykorzystania pasma telewizyjnego UHF oraz zwiększenia możliwości pracy przyszłych sieci WiFi stanowi m.in. tematykę prac dotyczących efektywności wykorzystania widma radiowego prowadzonych w Europie i na świecie (ITU, WRC15, CEPT, EC, tematy Horyzont2020). Potrzeba użycia współczynników ochronnych dla radia kognitywnego jest przedmiotem dyskusji. W pracy zostały zrelacjonowane wyniki przeprowadzonych badań pozwalające na zajęcie stanowiska w tej sprawie.

### **Cel ogólny projektu**

Usprawnienie metod zarządzania widmem i warunków wykorzystania częstotliwości radiowych. Zastosowanie metod matematycznych i nowoczesnego oprogramowania w inżynierii widma.

Cel cząstkowy projektu

- Ochrona systemów radionawigacji lotniczej ARNS
- Reforma zarządzania widmem w radiokomunikacji morskiej
- Ocena możliwości technicznych uruchomienia kolejnych multipleksów DVB-T w Polsce
- Ocena warunków pracy przyszłych sieci WiFi w pasmach ISM
- Zharmonizowane warunki techniczne dla szerokopasmowych systemów radiowych w paśmie II dywidendy cyfrowej
- Przygotowanie się do prac mających na celu określenie współczynników ochronnych dla radia kognitywnego w wybranych pasmach częstotliwości (Z21)

W ramach niniejszej pracy w rozdziale drugim przedstawiono aktualny stan planów i realizacji sieci multipleksów w Polsce. Przeprowadzono analizę reorganizacji pracujących multipleksów po utracie pasma 700 MHz. Ponadto oceniono możliwość utrzymania 6 multipleksów w sytuacji utraty pasma 700 MHz. W rozdziale trzecim omówiono najnowsze morskie systemy radiokomunikacyjne w aspekcie zajętości częstotliwości radiowych i zajmowanych kanałów radiowych oraz przedstawiono stanowisko IMO na konferencję WRC-15. W rozdziale czwartym analizowano warunki i kryteria ochrony służby radionawigacji lotniczej (ARNS) przed zakłóceniami ze strony stacji naziemnej telewizji cyfrowej (DVB-T) oraz ze strony stacji bazowych służby ruchomej (sieci systemu LTE i/lub LTE-A) planowane

do uruchomienia w paśmie drugiej dywidendy. W rozdziale piątym omówiono możliwość implementacji systemów ochrony bezpieczeństwa publicznego (PPDR) a w szczególności systemy rozległo pasmowe BB PPDR w paśmie II. Dywidendy. Ponadto omówiono estymację zasobów widmowych dla potrzeb systemów RRL w paśmie drugiej dywidendy. W rozdziale szóstym przeprowadzono ocenę warunków pracy przyszłych sieci Wi-Fi w pasmach ISM. W rozdziale siódmym przedstawiono problem kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń typu WSD pracujących w białych przestrzeniach. Badano powstawanie niepożądanych produktów w postaci sygnałów harmonicznych oraz produktów intermodulacyjnych na przykładzie urządzenia USRP-2920 firmy National Instrument. Ponadto przeanalizowano normę ETSI EN 301 598 v.1.1.1 (2014-04) pod kątem możliwości pomiarowych dostępnych w Laboratorium Badań EMC Zakładu Z-21 i przeprowadzono pomiary zgodnie z normą.

## **2 Ocena możliwości technicznych uruchomienia kolejnych multipleksów telewizji naziemnej w Polsce**

Analiza dostępnych zasobów widma radiowego w różnych pasmach radiowych stanowi aktualną dziedzinę badawczą rozwijaną od wielu lat w ramach wielu prac prowadzonych w Instytucie Łączności. Prace te, oprócz celów naukowo-badawczych służą także organom regulacyjnym w naszym kraju oraz wykonywane są na rzecz odbiorców komercyjnych. Na przykład w pracach [2.1, 2.2., 2.3, 2.4] opisano metodykę analiz oceny dostępnych kanałów radiowych do celów tzw. systemów białych przestrzeni widma TV (TV White Space) planowanych do wdrożenia w zakresie 470 – 790 MHz zwanym dotychczasowo zakresem (czasem pasmem) telewizyjnym. Podano tam wyniki analiz białych przestrzeni widma w postaci map obszarów Polski z określoną ilością dostępnych kanałów telewizyjnych, zależnie od przyjętych wariantów ochrony emisji naziemnej telewizji DVB-T i parametrów urządzeń WSD. Wynikało z nich, że pasmo telewizyjne posiada duży potencjał dla rozwijania systemów radia kognitywnego. Analizy prowadzono po ustaleniu przekazania pewnej puli częstotliwości, , czyli po przeznaczeniu zakresu częstotliwości 790-862 MHz (tzw. pierwsza dywidenda cyfrowa lub tzw. pasmo 800 MHz) na potrzeby systemów radiokomunikacji ruchomej. Obecnie trwają prace analizujące możliwości kolejnych zmian przeznaczenia pasm telewizyjnych. Dyskutuje się przeznaczenie drugiej części pasma telewizyjnego (zakres 694 – 790 MHz, tzw. druga dywidenda cyfrowa lub tzw. pasmo 700 MHz) na potrzeby kolejnych systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej, RRL. Pozbawienie telewizji tego zakresu częstotliwości spowodowałoby bardzo poważne konsekwencje dla kontynuacji działalności multipleksów telewizji cyfrowej DVB-T w Polsce jak również będzie miało ogromny wpływ na potencjał pozostałej części widma radiowego (470-694 MHz) i możliwości rozwoju telewizji cyfrowej w Polsce poprzez uruchamianie kolejnych multipleksów. W niniejszym rozdziale dokonano oceny konsekwencji utraty pasma 700 MHz dla telewizji i przeznaczenia go dla systemów RRL oraz zaproponowano rozwiązania skutkujące możliwością utrzymania 6 multipleksów cyfrowych w pozostałej dla telewizji części widma radiowego tak, aby zapewnić możliwość rozwoju i uruchamiania kolejnych multipleksów w Polsce.



## 2.1 Podstawy techniczne i regulacyjne pasma telewizyjnego UHF

Zgodnie z planem zagospodarowania częstotliwości dla systemów radiodifuzyjnych, przyjętym podczas Regionalnej Konferencji Radiokomunikacyjnej ITU w 2006 roku w Genewie [2.5], zwanym planem "Genewa 06" lub GE06, zakresy częstotliwości 470-862 MHz (tzw. telewizyjne pasmo UHF) oraz 174-230 MHz (tzw. telewizyjne pasmo VHF), zostały przeznaczone dla potrzeb telewizji naziemnej. Plan ten został przyjęty przez kraje europejskie, afrykańskie oraz kraje Bliskiego Wschodu.

Ze względu na cechy fizyczne rozchodzenia się fal radiowych w wymienionych pasmach (stosunkowo niezłe zasięgi nadajników), koszty budowy sieci radiodifuzyjnych nie są zbyt duże. Użytkowanie pasm UHF i VHF zapewnia też dobrą penetrację fal radiowych w budynkach, oraz umożliwiają wykorzystywanie małych anten o dobrym zysku. Jednakże, między innymi z powyższych powodów wymienione zakresy częstotliwości są współużytkowane przez telewizję z innymi systemami, takimi jak systemy reporterskie PMSE (Programme Making and Special Events) – np. mikrofony i kamery bezprzewodowe, radioastronomią (tylko zakres 604-608 MHz), ARNS (systemy radionawigacyjne niektórych krajów b. Układu Warszawskiego o oznaczeniach RSBN/PRMG, SOD, RSP), oraz planowanymi do wdrożenia systemami radia kognitywnego (Cognitive Radio) wykorzystującymi tzw. białe przestrzenie widma (TV White Spaces).

W związku z cyfryzacją emisji telewizji naziemnej, która została przeprowadzona w Polsce i innych krajach Europy nastąpiło efektywniejsze wykorzystanie widma radiowego w związku z możliwością tworzenia tzw. sieci jednoczęstotliwościowych SFN – Single Frequency Network i wykorzystania multipleksacji programów telewizyjnych. Stąd emisja w sieci telewizji cyfrowej wymaga mniejszych zasobów częstotliwościowych od wykorzystywanej do tej pory emisji analogowej, przy zachowaniu tej samej ilości programów. Zysk wynikający z oszczędności częstotliwości nazwano **dywidendą cyfrową**. Warunki cyfryzacji oraz modyfikacji planu sieci telewizji naziemnej ustalono w 2006 roku na wspomnianej konferencji regionalnej ITU w Genewie, po czym na Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej w roku 2007 (WRC-07) uznano, iż w Europie można zmniejszyć pasmo telewizyjne o zakres (790-862 , tzw. pasmo 800 MHz) i przeznaczyć ten zasób na potrzeby systemów RRL. Decyzja ta w 2010 roku została rozszerzona dla potrzeb krajów członkowskich Unii Europejskiej przez Komisję Europejską (Decyzja Komisji Europejskiej z 2010r. 2010/267 /EC w sprawie zharmonizowanych warunków technicznych



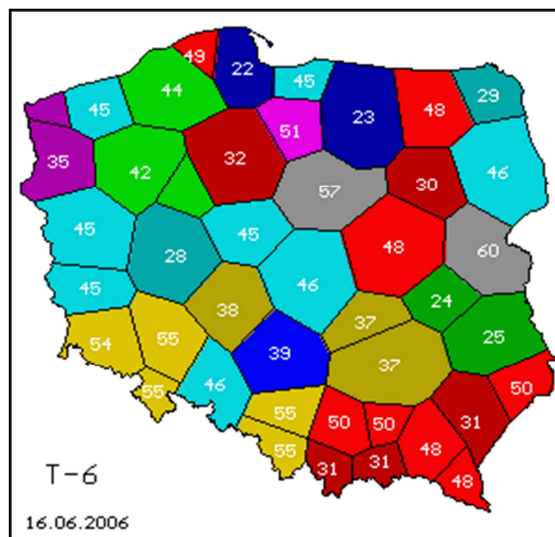
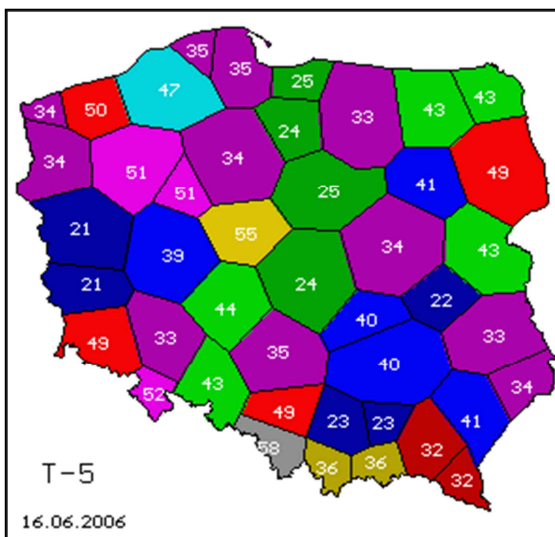
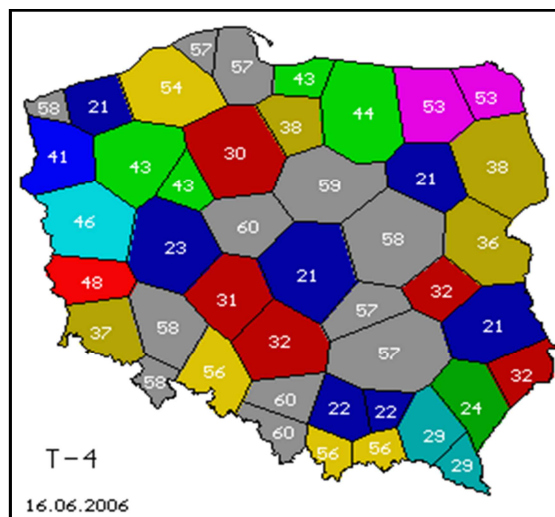
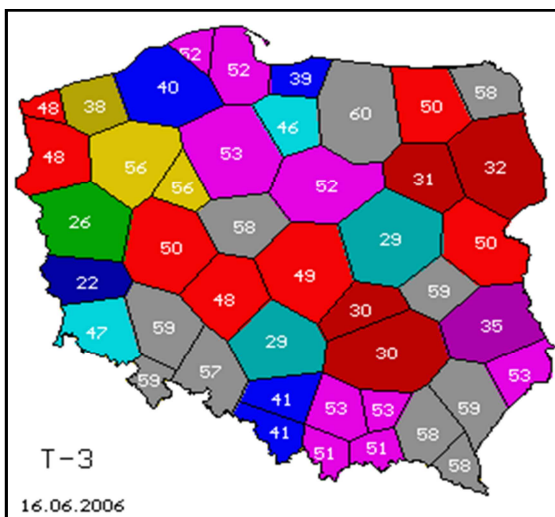
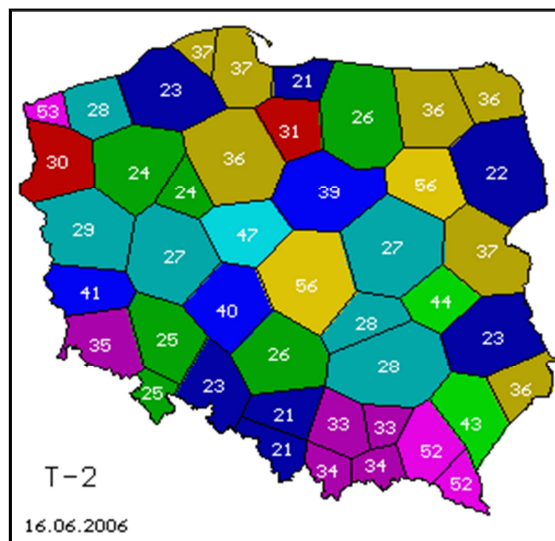
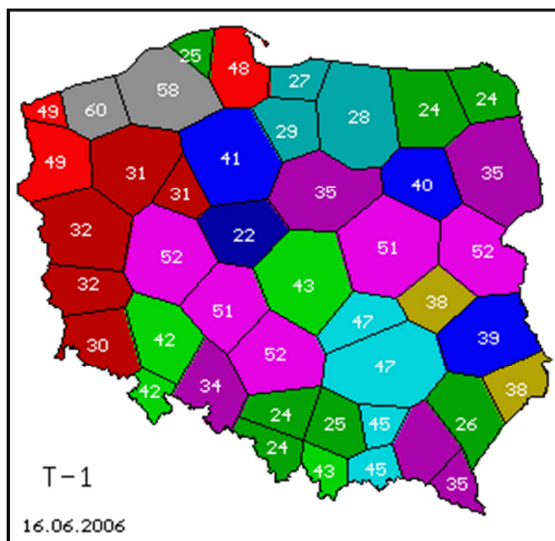
wykorzystywania zakresu 790-862 MHz). Komisja Europejska w swojej decyzji postanowiła, iż zwolnienie pasma przez systemy telewizyjne zostanie zrealizowane do 2015 roku. W Polsce proces cyfryzacji telewizji naziemnej ukończono 23 lipca 2013 roku.

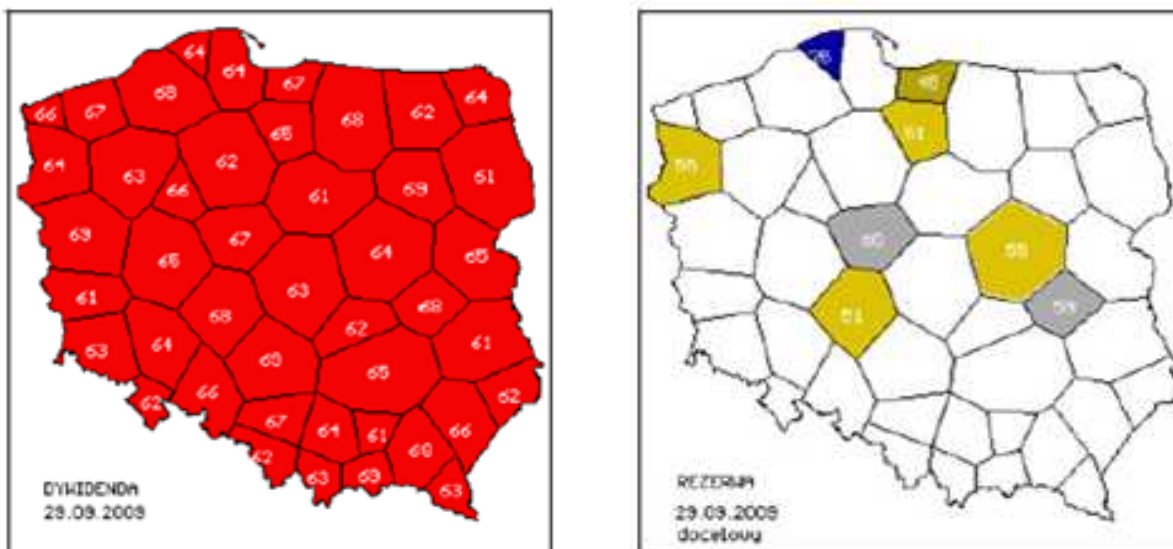
Wzrost ruchu w sieciach RRL, a także zwiększające się zapotrzebowanie na dostęp do tych sieci jest przyczyną presji operatorów komórkowych na organy regulacyjne, aby te zwiększyły zakres pasma, dostępnego dla sieci kolejnych generacji systemów mobilnych (LTE/LTE-A/5G). Dodatkowym argumentem podnoszonym przez operatorów jest realizacja Europejskiej Strategii Europa 2020, zakładającej stworzenie wszystkim obywatelom UE dostępu do szerokopasmowego Internetu o przepustowości co najmniej 30 Mb/s (oraz 100 Mb/s dla co najmniej połowy gospodarstw domowych). W zrealizowaniu tych celów może pomóc także komunikacja bezprzewodowa. Wyższe pasma częstotliwości, jak obecnie eksploatowane przez operatorów sieci komórkowych pasma 1700 MHz, 2100 MHz, czy 2,6 GHz mogą być z powodzeniem wykorzystywane w realizacji sieci na terenach miejskich i podmiejskich, gdzie odległości pomiędzy odbiorcami mogą być niewielkie, a gęstość sieci znaczna. Na terenach słabiej zaludnionych wygodniejsze i tańsze jest stosowanie niskich częstotliwości, czyli na przykład pasma obecnie wykorzystywanego przez sieć telewizji naziemnej. Dużą rolę w organizacji zasobów częstotliwości ma sposób, w jaki Świat został podzielony przez ITU na regiony. Rejony Europy oraz Bliskiego Wschodu znajdują się w tzw. Regionie 1 razem z krajami Afryki. Ze względu na małą gęstość zaludnienia oraz duże odległości między skupiskami ludzi w Afryce, nie jest opłacalne realizowanie tam sieci przewodowych, a zapotrzebowanie na dostęp do komunikacji głosowej oraz przesyłu danych jest ogromne. Jest to powodem dużej presji ze strony przedstawicieli władz krajów afrykańskich, na zmianę organizacji pasma UHF i przeznaczenie jego większej części na potrzeby łączności komórkowej. Podczas Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej ITU WRC-12 pod wpływem krajów Afryki oraz globalnych operatorów komórkowych podjęto Uchwałę 232 (*Uchwała w sprawie podjęcia prac dotyczących użytkowania zakresu 694(8)-790 MHz*) o przeznaczeniu tzw. pasma 700 MHz (694-790 MHz) dla systemów mobilnych w Regionie 1 ITU (rejony Europy, Afryki i Bliskiego Wschodu) możliwym do realizacji po następnej światowej konferencji radiokomunikacyjnej (WRC15 w 2015r.) i rozpoczęciu prac nad kryteriami współużytkowania częstotliwości. Pasma 700 MHz, które może zostać przeznaczone dla systemów RRL, zostało nazwane „drugą dywidendą cyfrową”. Ostateczna decyzja o kryteriach technicznych zagospodarowaniu tego pasma zapadnie w 2015r. podczas najbliższej Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej ITU (WRC-15), a obecnie trwają

prace nad ustaleniem stanowisk poszczególnych administracji i organizacji regionalnych. To jak będzie to pasmo faktycznie wykorzystywane po Konferencji WRC15 (np. przez systemy radiodfuzyjne czy komórkowe) ustalone zostanie prawdopodobnie w każdym kraju na podstawie indywidualnej decyzji jego administracji, o ile nie zostanie podjęta decyzja wymuszająca taką decyzję krajową na szerszym forum – na przykład Decyzja Komisji Europejskiej nakładająca taki obowiązek dla krajów UE. Na wysokim szczeblu Komisji Europejskiej powołano specjalną grupę pod przewodnictwem byłego komisarza Pascala Lamy mającą określić przyszłą strategię wykorzystania tej części widma radiowego w Europie. Opracowany został Raport [2.7], który stanowił podsumowanie prowadzonych prac. W pracach tych uczestniczyli przedstawiciele zarówno europejskich operatorów sieci mobilnych jak i przedstawiciele europejskich nadawców telewizyjnych i operatorów sieci nadawczych. Grupa nie wypracowała wspólnego kompromisowego stanowiska odnośnie przeznaczenia pasma 700 MHz a opracowany Raport stanowi jedynie propozycję przewodniczącego grupy. Propozycja ta zmierza w kierunku przeznaczenia pasma 700 MHz dla operatorów mobilnych w latach około 2020-2022 oraz gwarancji utrzymania przeznaczenia telewizji naziemnej w zakresie 470-694 MHz przynajmniej do roku 2035.

## **2.2 Aktualny stan planów i realizacji sieci multipleksów**

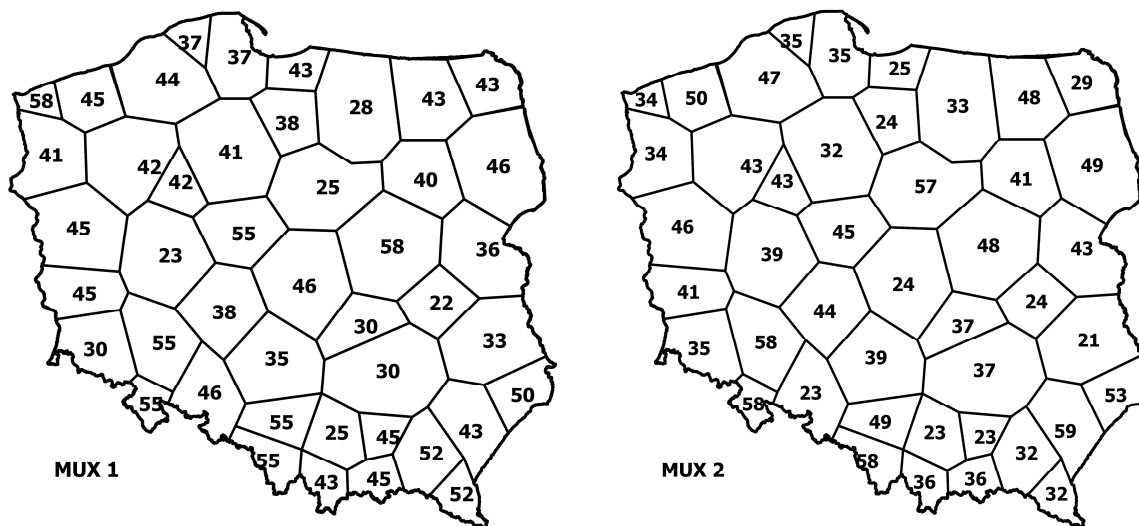
W Planie GE06 dla Polski zatwierdzono 8 niezależnych pokryć siecią telewizji naziemnej DVB-T. Sześć multipleksów zostało przydzielonych w zakresie częstotliwości 470-790 MHz (kanały 21-60), jeden w zakresie 790-862 MHz (kanały 61-69) oraz jeden w zakresie 174-230 MHz (kanały 5-12). Dodatkowo występuje kilka obszarów rezerwacji zapasowych. Obszary rezerwacji według planu GE06 zostały przedstawione na rysunku 2.1.

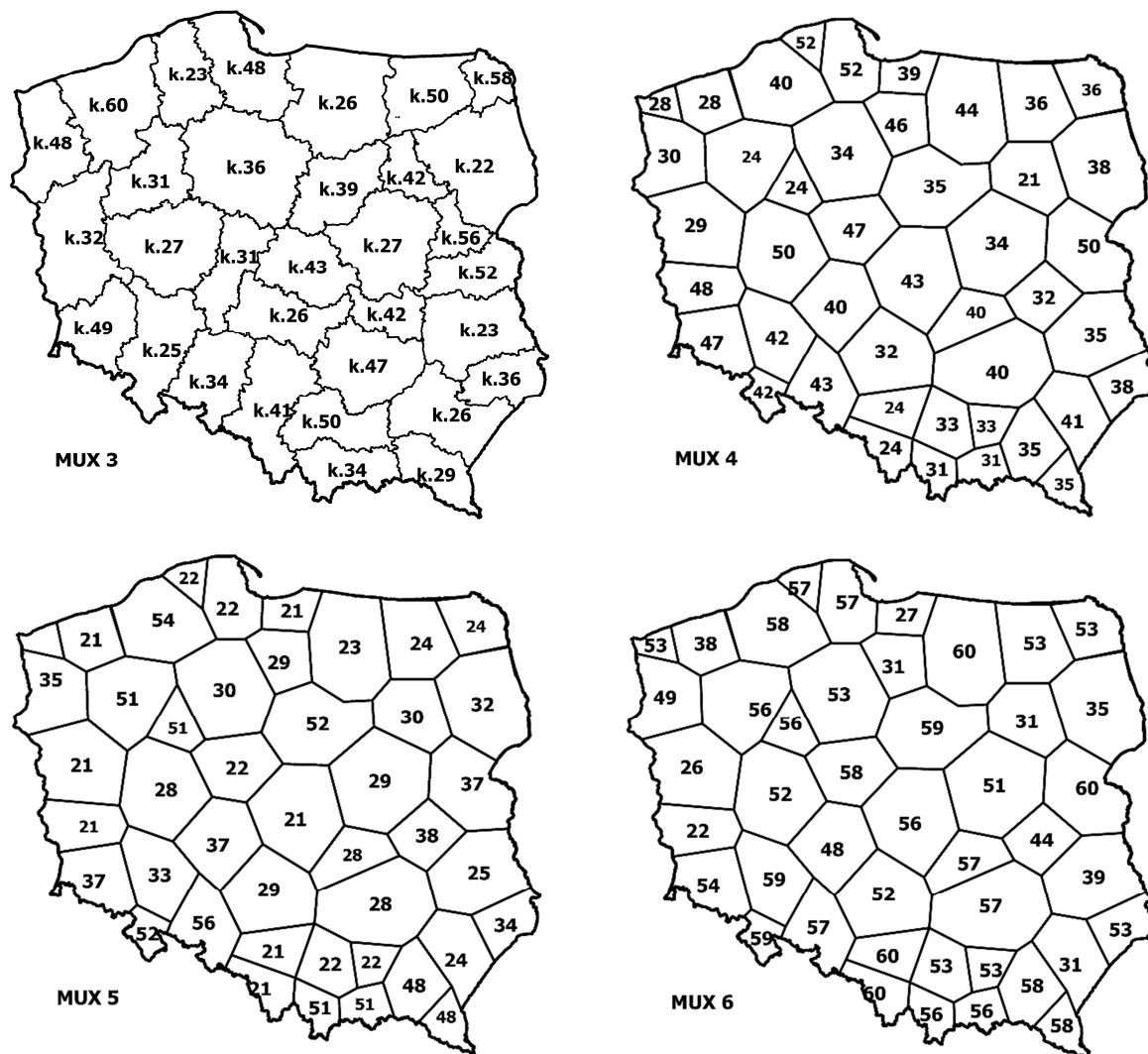




Rys. 2.1. Obszary rezerwacji według planu GE06: pasmo UHF: 470-862 MHz

Aktualnie w Polsce dokonano przeznaczeń częstotliwości dla 6 multipleksów naziemnej telewizji cyfrowej, pracującej w standardzie DVB-T (MUX 1-MUX 6), których obszary rezerwacji (*allotments*) wraz z przydzielonymi kanałami pokazano na Rys. 2.2.

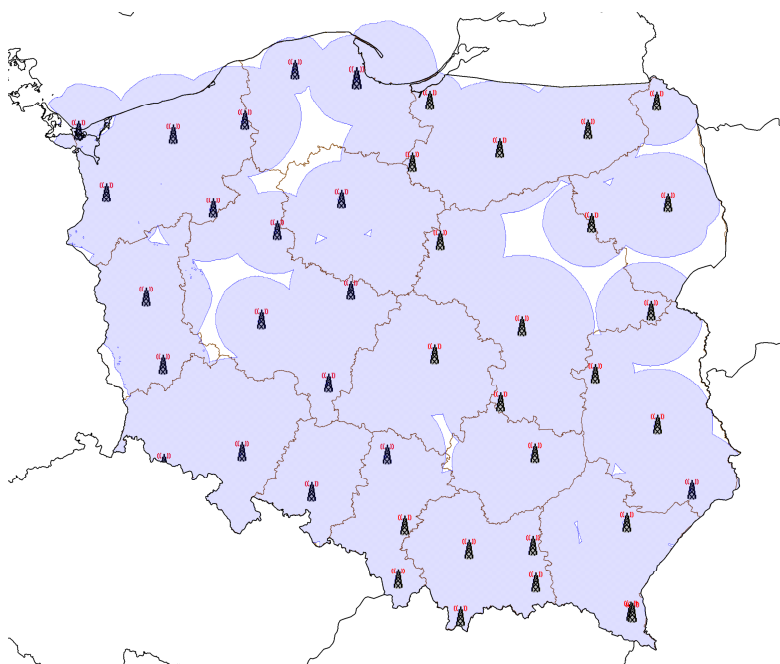




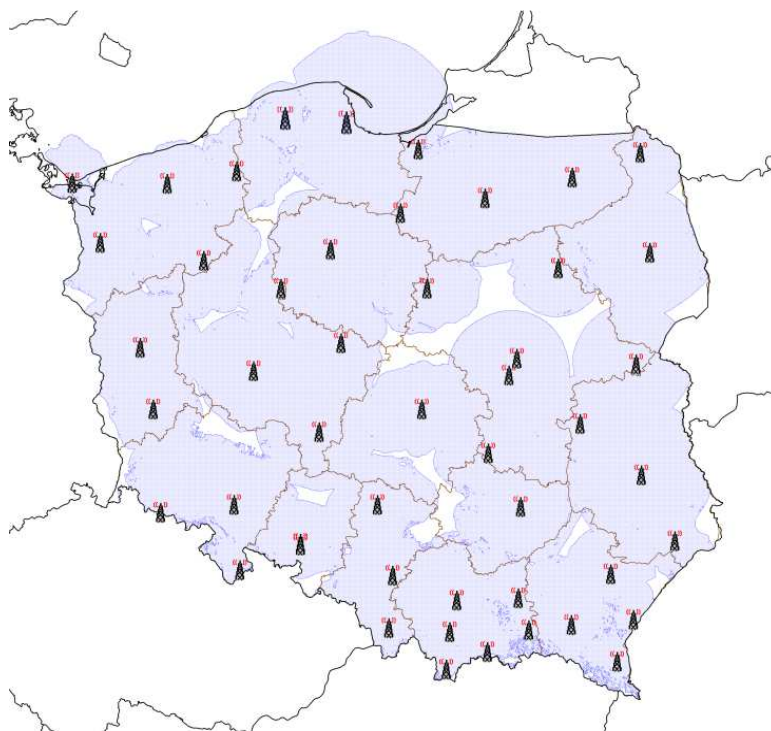
Rys. 2.2. Multipleksy DVB-T aktualnie dostępne w Pasmie UHF: 470-790 MHz

Ze wskazanych 6 multipleksów dotychczas uruchomiono 4 z nich. W multipleksie pierwszym (MUX 1) zostało umieszczonych siedem programów telewizyjnych nadawców komercyjnych oraz jeden, należący do Telewizji Polskiej. Odbiór tych programów jest dostępny w trybie stacjonarnym na obszarze pokrywającym 95% ludności. Multipleks 2 (MUX 2) również zapewnia odbiór w trybie stacjonarnym i zapewnia odbiór dla 95 % ludności. Dostępne jest na nim osiem programów nadawców komercyjnych. MUX 3 w całości został przeznaczony dla Telewizji Polskiej. Oferuje on osiem programów z dostępem stacjonarnym dla ponad 95% ludności Polski. MUX 4 jako jedyny zapewnia odbiór mobilny, lecz jest dostępny tylko w miastach i jest dodatkowo płatny. Umożliwia on odbiór ośmiu kanałów telewizyjnych i dwunastu kanałów radiowych. Obecne pokrycie sygnałem telewizji naziemnej w Polsce dla MUX 1 – MUX 3 zostało przedstawione na rysunkach 2.3, 2.4 i 2.5.

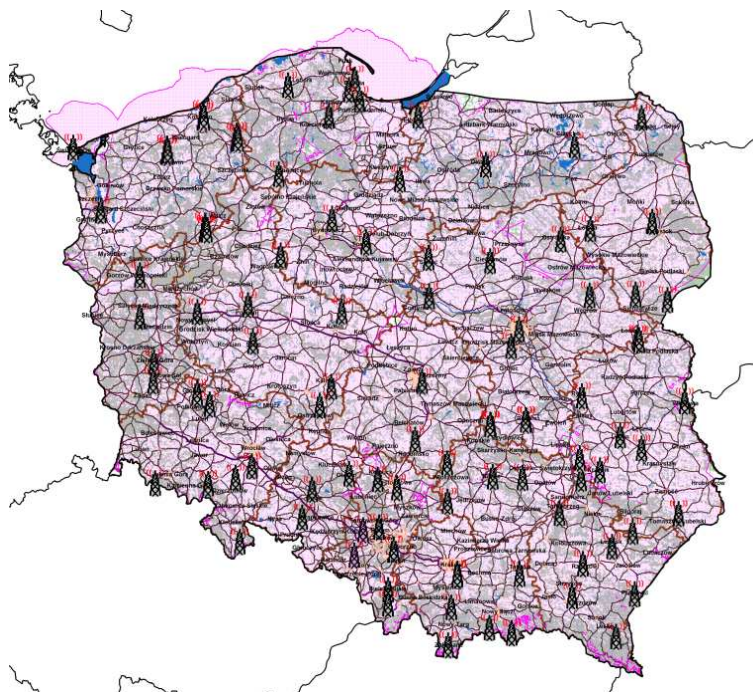




Rys. 2.3. Odbiór stacjonarny MUX 1

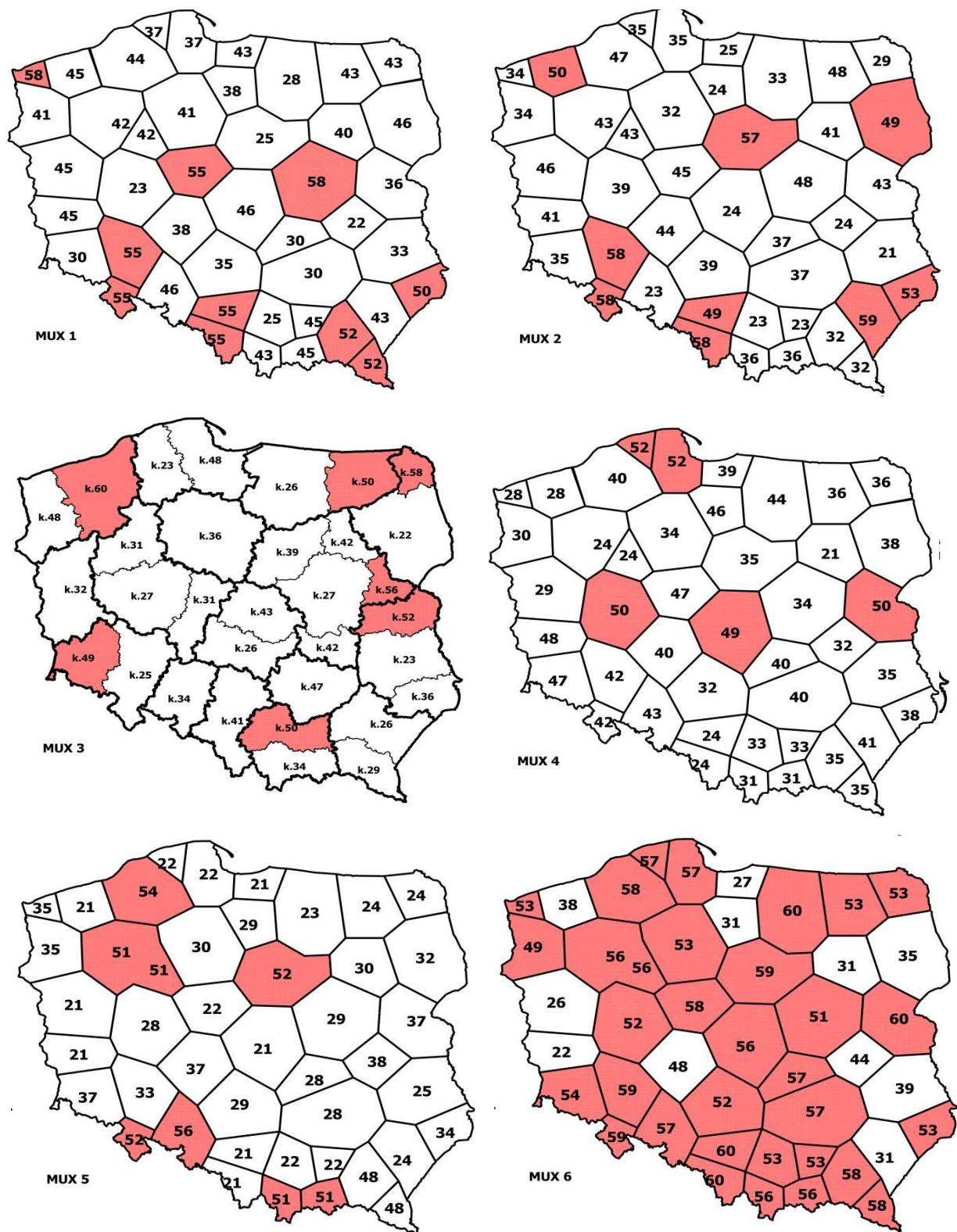


Rys. 2.4. Odbiór stacjonarny MUX 2



Rys. 2.5. Odbiór stacjonarny MUX 3

Aktualne sieci nadajników telewizyjnych wykorzystują kanały z zakresu obejmującego częstotliwości drugiej dywidendy w 31 obszarach MUX 1 – MUX 4 oraz w 33 obszarach MUX 5 i MUX 6. W każdym z multipleksów wykorzystywane są dziś kanały z pasma drugiej dywidendy cyfrowej i w przypadku utraty tego pasma dla potrzeb telewizyjnych konieczna będzie zmiana planów wykorzystania częstotliwości sieci telewizji cyfrowej. Na rysunku 2.6 przedstawiono plan ułożenia kanałów telewizyjnych na terenie Polski, a kolorem czerwonym zaznaczono kanały w paśmie 700 MHz, które zostałyby utracone w przypadku zatwierdzenia drugiej dywidendy cyfrowej.



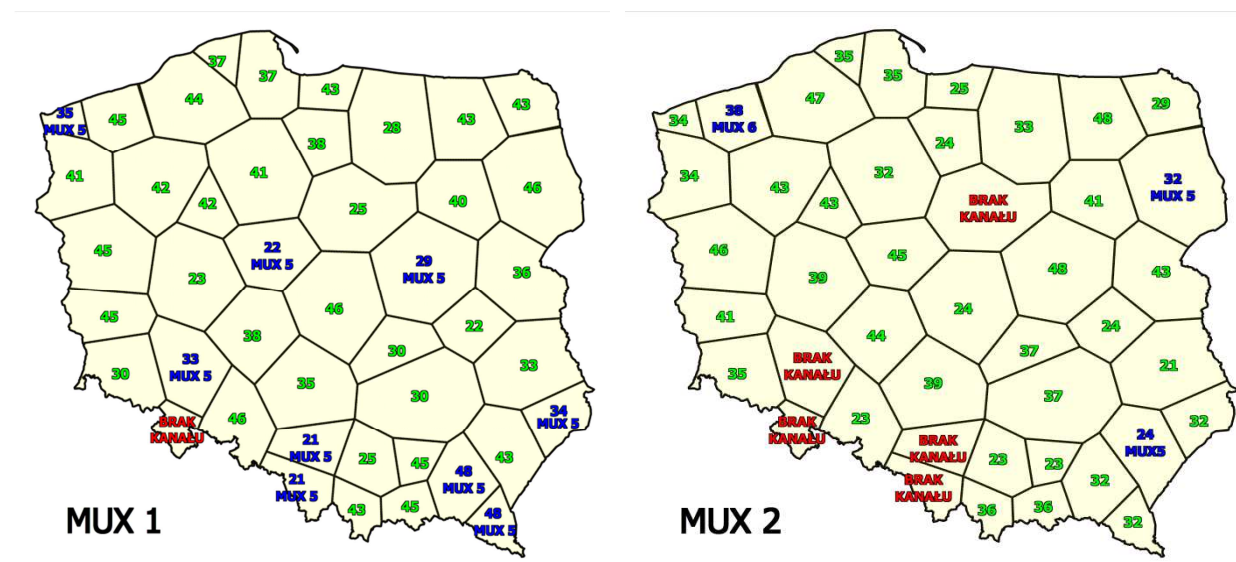
Rys. 2.6. Plan GE06 z zaznaczonymi kanałami 700 MHz.

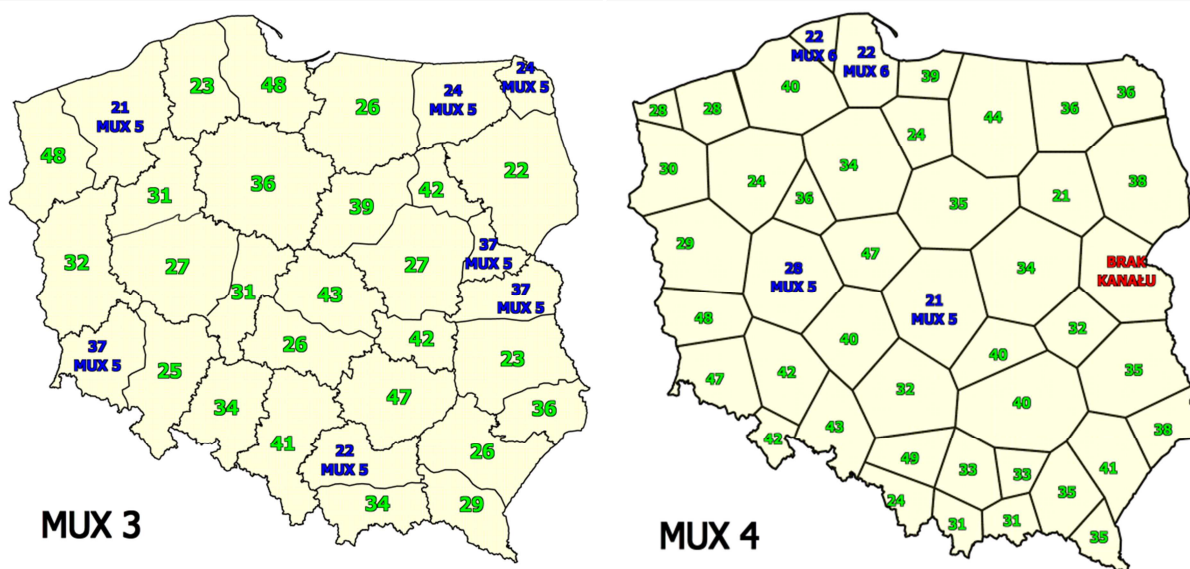


## 2.3 Reorganizacja pasma z wykorzystaniem MUX 5 i MUX 6

Jednym z rozwiązań niedoborów kanałowych wynikających z implementacji drugiej dywidendy cyfrowej może być reorganizacja telewizyjnego pasma UHF, polegająca na uzupełnieniu czterech multipleksów aktualnie pracujących kanałami z pozostałych dwóch warstw skoordynowanych podczas konferencji planistycznej w Genewie (2006). Kanały częstotliwościowe przydzielone dla MUX 5 oraz MUX 6 nie są obecnie używane, więc możliwe jest wykorzystanie ich do zapełniania niedoborów powstałych po redukcji pasma telewizyjnego o pasmo 700 MHz.

Przeprowadzono analizę możliwości stworzenia czterech multipleksów ogólnopolskich na bazie kanałów przydzielonych według GE06 dla radiodifuzji w paśmie 470-694 MHz. Wynika z niej, iż można zapewnić niemal ogólnokrajowe pokrycie MUX 1-MUX 4 wykorzystując wyłącznie kanały poniżej pasma 700 MHz. Brakujące w kilku obszarach rezerwacji kanały mogą zostać dobrane w dość prosty sposób wykorzystując zasady GE06 i koordynując je z sąsiadami. Rysunki 2.7 ukazują proponowany sposób przydziału kanałów w MUX 1-4 na terenie Polski wraz z zaznaczeniem pochodzenia dobranych kanałów.





Rys. 2.7. Reorganizacja uruchomionych multipleksów po utracie pasma 700 MHz

## 2.4 Możliwości uruchomienia kolejnych multipleksów na bazie Planu GE06

W celu uzyskania większej liczby multipleksów przy założeniu, że druga dywidenda cyfrowa zostanie zrealizowana na korzyść sieci RRL, należałoby dokonać rewizji planu GE06 na zasadzie konferencji międzynarodowej lub na drodze wielostronnych koordynacji. Możliwe byłoby tu bazowanie na dotychczasowym standardzie naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T lub też na jego nowszej wersji – DVB-T2. W przypadku wyboru standardu DVB-T możliwe mogłoby być co najwyżej skonstruowanie jednej dodatkowej warstwy multipleksu poniżej 694 MHz, która musiałaby przejść wielostronną koordynację międzynarodową i doprowadzić docelowo do 5 multipleksów ogólnokrajowych w paśmie UHF. Większe możliwości można by uzyskać zakładając w przyszłości zmianę standardu telewizyjnego w Polsce z DVB-T na DVB-T2 (lub jego kolejną wersję), zwłaszcza w połączeniu z nowszym, efektywniejszym kodowaniem wizji HEVC. Standard ten jest coraz bardziej popularny w Europie. Testowe emisje prowadzone są już w Europie, niektóre kraje np. Niemcy podjęły decyzję o zmianie standardu na DVB-T2/HEVC po 2018r.

DVB-T2 jest drugą generacją standardu DVB-T i podobnie jak poprzednik opiera się na technice OFDM, jednak o większej liczbie dostępnych opcji, np. liczba podnośnych OFDM została zwiększona maksymalnie do 32 tys., zastosowano bardziej efektywne metody

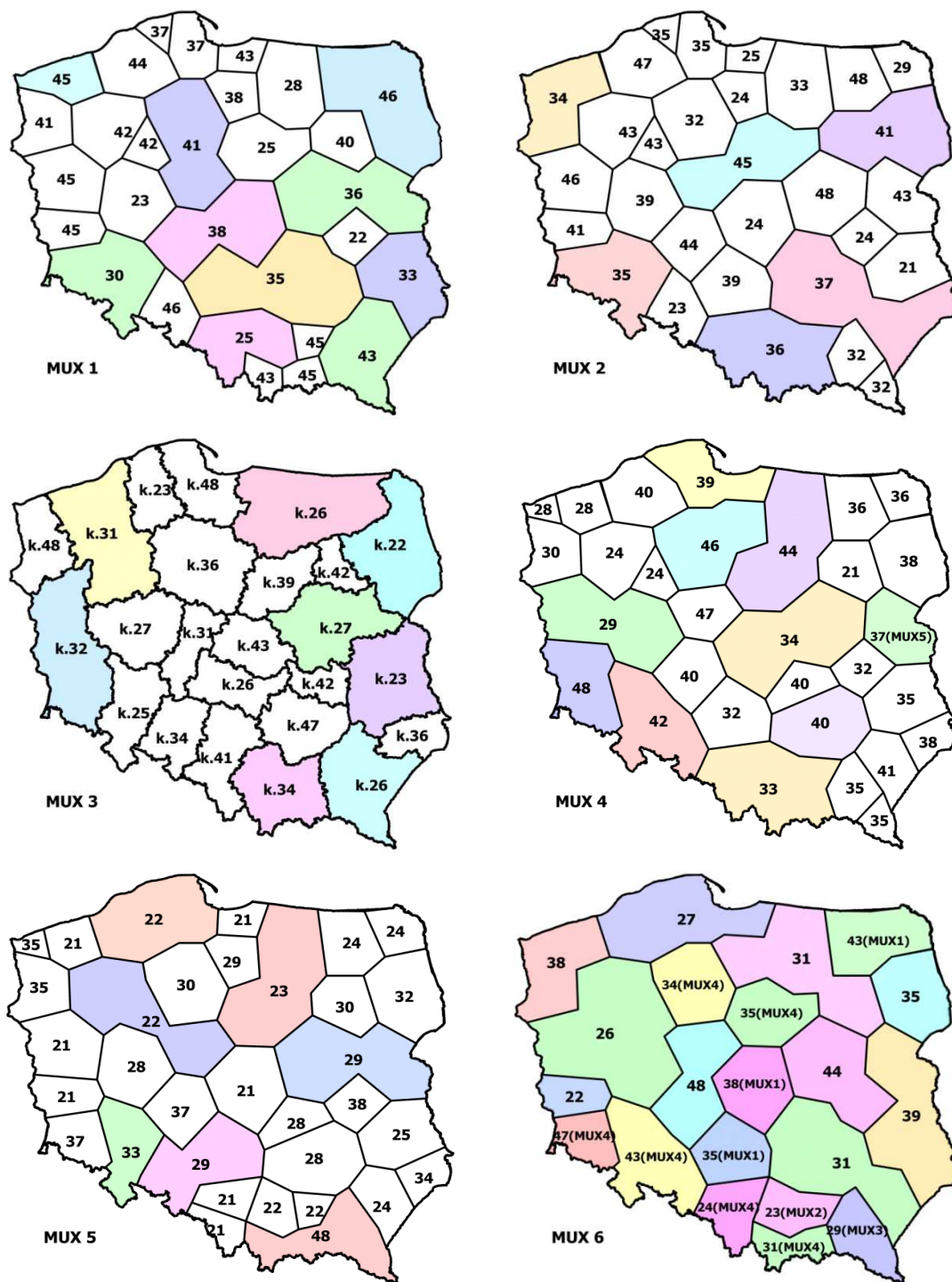
korekcji oraz dopuszczono wyższe stopnie modulacji QAM, dzięki czemu uzyskano znaczny wzrost dostępnej pojemności w kanale.

Dodatkowo, dzięki możliwości zastosowania dłuższych odstępów ochronnych (*guard intervals*) w technice OFDM możliwe stało się zastosowanie znacznie większych obszarowo sieci jednoczęstotliwościowych SFN, a tym samym obszarów rezerwacji, co pozwala na uzyskanie lepszej efektywności widmowej. W przypadku techniki DVB-T2 i zastosowania większych obszarów możliwe byłoby utrzymanie wszystkich 6 multipleksów mimo redukcji dostępnych zasobów widma do pasma 470-694 MHz.

W celu modyfikacji istniejącego planu najpierw zastosowano rozszerzenie obszarów o obszary sąsiednie, tam gdzie było to możliwe, biorąc pod uwagę całokształt Planu GE06 oraz możliwości tworzenia rozległych sieci jednoczęstotliwościowej DVB-T2. Pozwoliło to na „zaoszczędzenie” kanałów, które mogą zostać przeniesione do innych multipleksów.

Rozszerzenie obszarów rezerwacji MUX 1 – MUX 4 poza małym wyjątkiem nie wymaga przenoszenia kanałów pomiędzy poszczególnymi multipleksami. Najtrudniejsza jest sytuacja w odniesieniu do MUX 6 - gdzie spośród 44 obszarów rezerwacji aż 33 mają przydzielone kanały znajdujące się w zakresie drugiej dywidendy cyfrowej. W związku z tym należało przeprowadzić rozszerzenia obszarów rezerwacji w taki sposób, aby zwolnione kanały z MUX 1–MUX 5 można było wykorzystać w MUX 6.

Wynik wstępnego przeplanowania oraz przenoszenia kanałów pomiędzy warstwami MUX 1 – MUX 6 przedstawiono na Rysunku 2.8. Jak widać możliwe jest utrzymanie 6 multipleksów w paśmie 470-694 MHz nawet w sytuacji przekazania pasma 700 MHz dla operatorów komórkowych. Wymaga to jednak stosowania dużych obszarów rezerwacji oraz z tym związanej techniki DVB-T2. Konieczna jest tym samym zasadnicza modyfikacja Planu GE06, najlepiej w formie regionalnej konferencji ITU lub CEPT. Szczegółowe ustalenia odnośnie takiego przyszłego Planu będą wymagać co najmniej wielu spotkań koordynacyjnych z krajami sąsiadującymi.



Rys. 2.8. Ocena możliwości utrzymania 6 multipleksów w sytuacji utraty pasma 700 MHz



## 2.5 Ocena skutków diskutowanych propozycji w sprawie przyszłych przeznaczeń pasma 700 MHz dla systemów mobilnych (tzw. druga dywidenda cyfrowa)

Przeznaczenie pasma 700 MHz dla systemów mobilnych oznacza następujące skutki:

- Utratę 2 pełnych pokryć DVB-T GE06 (MUX 5, MUX 6)
- Utrzymanie MUX 1-MUX 4 jest możliwe bez większych zmian Planu i większych problemów koordynacji międzynarodowej (konieczna jest współpraca międzynarodowa i drobna modyfikacja Planu GE06 (zmiana niektórych kanałów)
- Wystąpi brak możliwości wykorzystania współużytkowania pasma 700 MHz przez innych użytkowników widma, co kłóci się z promowaną ideą Komisji Europejskiej BSO (*Beneficial Sharing Opportunity*)
- Brak możliwości wykorzystywania systemów *kognitywnego radia* TV WS w paśmie 700 MHz
- Mniej dostępnych kanałów TV spoza GE06 na emisje lokalne
- Problemy przygraniczne z systemami ARNS (wschód)
- Znaczne problemy zakłóceń LTE700 do DVB-T (klasyczny *uplink* FDD)
- Przygotowania do wdrożenia i uzgodnienia międzynarodowe mogą zająć wiele lat
- Różne potrzeby i oczekiwania różnych krajów UE (konieczność wyłączenia niektórych multipleksów DVB-T w niektórych krajach)
- Utrzymanie 5-6 pokryć Polski multipleksami DVB-T/T2 wymaga istotnej zmiany Planu GE06 i koordynacji międzynarodowej

## 2.6 Podsumowanie

Wykonane analizy wskazują na potencjalne możliwości budowy 6 multipleksów cyfrowych w paśmie UHF nawet w sytuacji przeznaczenia drugiej dywidendy cyfrowej (694-790 MHz) dla systemów RRL. Wymaga to jedna znacznego zwiększenia obszarów rezerwacji i zastosowania nowszego trybu transmisji telewizyjnej (DVB-T2 zamiast DVB-T). W przypadku zastosowania trybu emisji w DVB-T możliwe byłoby uzyskanie co najwyżej 5 multipleksów ogólnopolskich. Zastosowanie minimalistycznego scenariusza, czyli zredukowanie przyszłej naziemnej telewizji do istniejących już 4 multipleksów w paśmie

UHF bez istotnej zmiany planu częstotliwości, może ograniczyć jej rozwój. Zbyt mała ilość dostępnego pasma ogranicza ilość programów, a także blokuje ich rozwój jakościowy (HD, UHD, 4k, 8k, 3D, dodatkowe usługi, telewizja holograficzna). Alternatywą przedstawioną w niniejszej pracy jest utrzymanie wszystkich 6 multipleksów oraz zastosowanie planowania na bazie standardu DVB-T2 w połączeniu z powiększeniem obszarów rezerwacji. Taki plan wymagałby przeprowadzenia szczegółowej koordynacji międzynarodowej, która w sytuacji zmiany przeznaczenia pasma 700 MHz będzie i tak konieczna we wszystkich krajach sąsiadujących. Ponieważ problem dotyczyć będzie wszystkich sąsiadujących krajów, z których niektóre już przyjęły planowaną zmianę techniki na DVB-T2 (np. Niemcy) zgoda na dokonanie znacznych zmian w planie częstotliwości będzie ułatwiona.

## 2.7 Literatura

- [2.1] D. Więcek i inni, Metody badawcze służące opracowaniu standardów i wdrożeniu systemów radia kognitywnego, Raport IŁ-PIB Z21/21300021/1477/11, Wrocław 2011
- [2.2] Więcek D.: Methodology of White Space estimation in TV bands based on the ITU GE06 technical conditions, COST IC0905 TERRA 3rd Workshop, Brussels, 21st June 2011
- [2.3] B. Gołębiowski, D. Niewiadomski, J. Sobolewski, D. Więcek, MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WIDMA RADIOWEGO W SYSTEMACH RADIA KOGNITYWNEGO, Krajowa Konferencja Radiokomunikacji Radiofonii i Telewizji, Gdańsk, 14 -16 maja 2012;
- [2.4] Więcek D., Valez F. Case studies for advancing CR deployment in Cognitive Radio Policy and Regulation, Springer International Publishing, Switzerland, 2014,
- [2.5] 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), Genewa, June, 2006;

- [2.6] ECC Report 185, Complementary Report to ECC Report 159 Further definition of technical and operational requirements for the operation of white space devices in the band 470-790 MHz, 2013;
- [2.7] REPORT TO THE EUROPEAN COMMISSION RESULTS OF THE WORK OF THE HIGH LEVEL GROUP ON THE FUTURE USE OF THE UHF BAND (470-790 MHZ) By Pascal Lamy, 29.08.2014

### 3 Zarządzanie widmem w radiowych systemach morskich

Dyskusja dotycząca gospodarki widmem w dziedzinie ogólnie rozumianych systemów radiokomunikacji morskiej (Morska Służba Ruchoma, Morska Satelitarna Służba Ruchoma, morskie radary nawigacyjne i systemy radionawigacji oraz tzw. e-Nawigacja) toczy się wokół kilku zagadnień:

- Cyfryzacja systemów łączności naziemnej, które ciągle w zasadniczej części wykorzystują analogowe techniki radiowe. Zmiany w tym obszarze będą wymagać reorganizacji pasm, podzakresów i struktury kanałów w morskich pasmach MF, HF i VHF.
- Nowe systemy łączności satelitarnej ruchomej, w tym systemy szerokopasmowe. Wiąże się to z reorganizacją już wykorzystywanych pasm częstotliwości dla Morskiej Satelitarnej Służby Ruchomej oraz wykorzystaniem nowych pasm.
- Bardziej efektywne wykorzystanie morskich pasm radarowych poprzez wprowadzanie innych technik radarowych niż wykorzystywana do tej pory technika radarów impulsowych.
- Nowe częstotliwości dla szeroko rozumianej e-Nawigacji, w tym systemu AIS (Automatic Identification System), również segmentu SAT-AIS (Satellite - AIS) oraz proponowanego, nowego systemu – VDES (VHF Data Exchange System), będącego rozwinięciem koncepcji systemu AIS, który integruje w sobie funkcjonalności AIS, SAT-AIS i transmisji danych nawigacyjnych w systemach naziemnych.
- Bieżące korekty w zakresie gospodarki widmowej związane z modyfikacją systemu GMDSS np. systemami MoB (Man-over-Board) oraz rozwojem systemu EPIRB (Emergency Position Indicating Radio Beacon)

W wyniku tych dyskusji niektóre zmiany realizowane są na bieżąco i są sukcesywnie wprowadzane do Regulaminu Radiokomunikacyjnego. Część z nich będzie zapewne dyskutowana i ustalana latami a proces ich implementacji będzie wymagał zmiany wykorzystywanych technik radiowych i technologii. Dyskusje jednak się toczą i należy je śledzić, ze względu na podejmowane decyzje, używane argumenty i ich ewentualne konsekwencje.

#### 3.1 Przegląd, analiza nowych systemów poprawiających bezpieczeństwo na morzu Wstęp

##### 3.1.1 Nowy GMDSS

W 1999 roku zakończyło się wdrażanie nowego system łączności niebezpieczeństwa (zwanego od tego momentu łącznością alarmową) i bezpieczeństwa na morzu GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System). Przy jego wdrażaniu popełniono zasadniczy błąd.



Poprzez enumeratywne wpisanie niektórych rozwiązań technicznych do Konwencji Międzynarodowych (SOLAS), uczyniono ten system praktycznie systemem technicznie zamkniętym. Nie przewidziano bardzo dynamicznego rozwoju ogólnie pojętej radiokomunikacji (naziemnej radiokomunikacji cyfrowej, systemów komórkowych czy radiokomunikacji satelitarnej). Na początku tego stulecia system ten, w wielu aspektach stał się przestarzały, mało funkcjonalny i efektywny, mało ergonomiczny, tym samym niechętnie użytkowany przez radiooperatorów na statkach morskich. Doszło do paradoksów, że w sytuacjach niebezpieczeństwa chętniej i sprawniej wykorzystywano nowoczesne systemy zainstalowane na statkach do łączności ogólnej niż system GMDSS.

Obecnie postanowiono ten błąd naprawić. Na forum IMO (International Maritime Organization) i współpracujących z IMO organizacji postanowiono dokonać reformy systemu GMDSS, definiując funkcjonalności i procedury akceptacji rozwiązań technicznych do realizacji określonych funkcjonalności. Tym samym postanowiono uczynić system GMDSS systemem, w pewnym sensie, technicznie otwartym, który dopuszcza ewolucję wykorzystywanych do realizacji określonych funkcjonalności coraz to nowszych rozwiązań technicznych, zmieniających się wraz z rozwojem technologii. Realizowane zmiany niestety nie mogą być rewolucyjne tylko ewolucyjne. Obecnie trwające prace koncentrują się w wielu obszarach:

- DSC (Digital Selective Calling) – obecnie trwają prace nad uproszczeniem funkcjonalności DSC. Po alarmie DSC zawsze następuje inny rodzaj łączności: foniczna lub w pasmach MF/HF foniczna lub radioteleksowa (NBDP). Ponieważ w ostatnich latach radioteleks przestał być powszechnie używany i ma go zastąpić inny system tekstowej łączności naziemnej. Będzie się to w końcu wiązać z inną aranżacją kanałów w systemie.
- Zmiana liczby i definicji tzw. Obszarów w GMDSS, co wiąże się z używaniem innych systemów łączności.
- Dopuszczenie do użytkowania w GMDSS nowych systemów łączności satelitarnej, w tym systemów na orbitach LEO zapewniających łączność satelitarną w obszarach biegunowych i podbiegunowych (np. Iridium) i systemów regionalnych (np. Thuraya)
- Rezygnacja z transponderów radarowych SART
- Wykorzystanie systemów MoB (Man over Board)
- Rezygnacja z systemu łączności naziemnej NBDP (radioteleks)
- Wykorzystanie (zamiast NBDP) nowych systemów transmisji danych w morskich pasmach HF/MF, często określanych jako HF-email.
- Wykorzystanie systemów transmisji danych w morskim paśmie VHF, określanym jako VHF Data

- Szersze wykorzystanie techniki i systemu AIS nie tylko do celów poprawy bezpieczeństwa nawigacji. Wykorzystanie podsystemów takich jak:
  - AIS – SART (transpondery AIS do lokalizacji na potrzeby SAR)
  - AIS –EPIRB (radiopławy alarmowe AIS)
  - AIS-MoB (systemy Man over Board wykorzystujące AIS)
  - SAT-AIS (podsystem satelitarny AIS)
- Wykorzystanie systemu VDES (system będący następcą systemu AIS)
- Wykorzystanie nowych systemów nadawania informacji bezpieczeństwa MSI, zastępujących system NAVTEX np. system NAVDAT.
- Wykorzystanie szerokopasmowych systemów informacji hydrometeorologicznych w oparciu o serwisy www.
- Rozwój systemu radiopław alarmowych EPIRB, rozbudowa tegoż systemu o system detekcji satelitarnej MEOSAR (transpondery systemu na satelitach GPS Block III i satelitach Galileo), wyposażenie radiopław w odbiorniki GNSS (nawigacji satelitarnej) i transpondery AIS.
- Rezygnacja z radiopław DSC-EPIRB
- Wykorzystanie do celów łączności alarmowej i bezpieczeństwa, szczególnie w obszarach przybrzeżnych oraz w rejonach wysp i morskich instalacji hydrotechnicznych takich jak platformy wiertnicze i farmy wiatrowe, systemów łączności komórkowej.
- Wykorzystanie satelitarnych terminali typu ręcznego (handheld).
- Wykorzystanie terminali VHF-DSC typu handheld
- Wykorzystanie terminali typu handheld działających w paśmie UHF 400MHz.
- Wykorzystanie statkowych systemów łączności szerokopasmowej w warstwie sieciowej (Internet) np. poprzez aplikacje poczty elektronicznej
- Wykorzystanie aplikacji na terminale typu Smartphone działających w oparciu lokalne, instalacje komórkowe na pokładach statków
- Wykorzystanie nowego rodzaju naziemnych sieci szerokopasmowych typu mesh na morzu.
- Etc.

Dyskusje te mają charakter otwarty i w zamierzeniu IMO, ciągły gdyż rozwój technik i technologii ICT ma charakter ciągły. Prace te i dyskusję toczoną są na wielu poziomach i mają różny stopień zaawansowania. Niektóre z nich są bardzo konkretne i formalne i będą wprowadzane bardzo szybko. Inne mają charakter koncepcyjny, dyskusje i prace nad nim będą trwałe jeszcze latami i nie wiadomo w jeszcze w jakiej formie będą realizowane. Wiadomo, że już teraz w GMDSS zmienia się filozofia podejścia do realizacji łączności niebezpieczeństwa i bezpieczeństwa i że w GMDSS będą używane nowe systemy techniczne zarówno łączności naziemnej jak i satelitarnej.

Wiąże się to oczywiście z wieloma zmianami w obszarze gospodarki widmowej. Zmianie musi ulec organizacja i wykorzystanie „starych” pasm i podzakresów morskich. Wykorzystywane będą i już są inne szerokości kanałów częstotliwościowych, inna będzie aranżacja kanałów i ich systemy numeracji. Niektóre pasma i podzakresy morskie, ze względu na wykorzystanie, nowych, efektywnych widmowo cyfrowych technik radiokomunikacyjnych zostaną zwolnione (aczkolwiek niechętnie). Potrzebne będą nowe pasma dla potrzeb nowych systemów i usług na morzu. W przyszłości IMO zamierza ubiegać się w ITU o takie przydziały, na razie nie zdecydowano jeszcze jakie konkretnie, ale w grupach roboczych IMO trwają nad tym prace. Wykorzystanie nowych systemów do celów łączności alarmowej i bezpieczeństwa, będzie również wymagało szczególnej ochrony pasm wykorzystywanych przez te systemy oraz wielu zmian w Regulaminie Radiowym sankcjonujących takie wykorzystanie tych systemów, zarówno w obszarze wykorzystania zasobów widmowych jak i określonych procedur łączności.

Na wielu forach trwają również ożywione dyskusje, że być może w przyszłości „Nowy GMDSS” powinien stać się składnikiem intensywnie obecnie rozwijanej koncepcji (czasami nazywanej Strategią) e-Nawigacji.

### **3.1.2 System MoB**

Już obecnie, w sposób nieusankcjonowany, są produkowane i użytkowane systemy Man-over-Board (Człowiek za burtą). W systemach tych wykorzystano koncepcje wyposażenia każdego członka załogi w mały transponder krótkiego zasięgu, który może służyć do nadania alarmu i lokalizacji. W kilku sytuacjach systemy takie już uratowały życie członkom załóg (szczególnie żeglarzom), którzy wypadli za burtę.

Wykorzystywane są w ogólności dwie koncepcje techniczne. W systemie GMDSS nigdy nie rozwinął się opracowany i zdefiniowany jako standard techniczny podsystem radiopław alarmowych EPIRB VHF-DSC (działający w morskim paśmie VHF). Powstały produkty, które dokładnie adaptują to rozwiązanie do potrzeb MoB.

Druga koncepcja techniczna to budowa personalnych transponderów AIS.

W obu przypadkach transpondery te są wyposażone odbiorniki satelitarne GNSS (GPS, Galileo, Glonass, Beidou etc.)

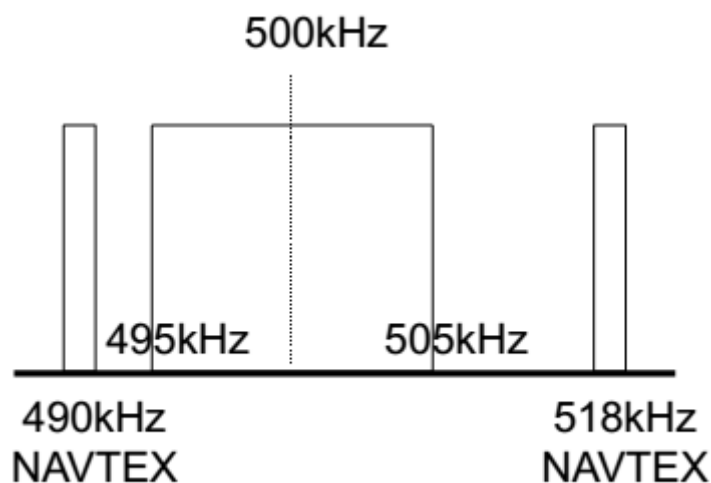
Istniała również koncepcja i testowe aplikacje wykorzystujące personalne transpondery radarowe SART, ale ze względu na małą efektywność i gorsze funkcjonalności z koncepcji tej zrezygnowano.

Systemy te wymagają pewnej standaryzacji i oficjalnego uznania e dokumentach IMO i ITU. Wiąże się to również z usankcjonowaniem określonych zasobów częstotliwościowych.

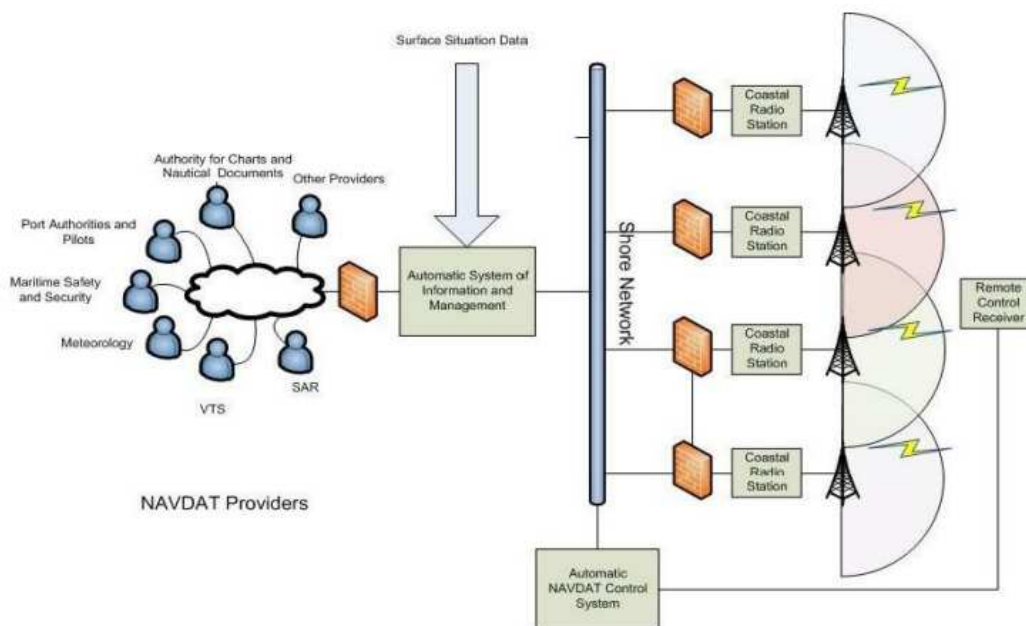
### 3.1.3 System NAVDAT

Podstawą bezpieczeństwa na morzu jest dystrybucja informacji MSI (Maritime Safety Information) czyli ogólnie rozumianych informacji pogodowych i ostrzeżeń nawigacyjnych. Obecnie funkcje te wypełniają dwa usankcjonowane systemy. System naziemny Navtex i satelitarny system Inmarsat EGC.

Rozwój systemów obserwacyjnych powoduje, że gwałtownie wzrosła ilość użytecznych informacji MSI. Techniki transmisyjne i organizacja systemów Navtex i EGC są niedostosowane w sensie przepływności informacyjnej do nowych potrzeb. Trwają prace nad zmianą tej sytuacji. Jedną z propozycji (Francja), omawianą obecnie na forum IMO i ITU jest nowy system naziemny dystrybucji MSI nazywany NAVDAT.



System wykorzystuje kanał 10kHz w historycznym paśmie 500kHz. Umożliwia transmisję danych z szybkością do 25kbit/s. Umożliwia transmisję rysunków, schematów, zdjęć i danych tekstowych. Zapewnia zasięgi do 350 mil morskich od stacji bazowej.



Na rysunku powyżej zaprezentowano proponowaną architekturę systemu NAVDAT. System ten posiada bardzo wiele funkcjonalności. Planuje się wprowadzić także wersję krótkofalową tego systemu NAVDAT HF. Odpowiednie dokumenty i propozycje skierowano już do ITU WP5B.

Maritime band	Central frequency	Limits
4 MHz band	4 226 kHz	4 221 to 4 231 kHz
6 MHz band	6 337.5 kHz	6 332.5 to 6 342.5 kHz
8 MHz band	8 443 kHz	8 438 to 8 448 kHz
12 MHz band	12 663.5 kHz	12 658.5 to 12 668.5 kHz
16 MHz band	16 909.5 kHz	16 904.5 to 16 914.5 kHz
22 MHz band	22450,5 kHz	22445,5 to 22455,5 kHz

Powyżej zaprezentowano propozycję kanałów częstotliwości wykorzystywanych przez NAVDAT HF w morskich pasmach HF

### 3.1.4 Nowy urządzenia AIS i segment satelitarny AIS (SAT-AIS)

W ostatnich latach następuje gwałtowny samemu rozwój systemu i nowych aplikacji AIS. Powoduje to oczywiście obawy, że system, który wykorzystuje obecnie 2 kanały morskiego pasma VHF do celów łączności naziemnej i 2 kanały (zastosowania dopiero wdrażane) do celów łączności satelitarnej.

Rozwija się koncepcja budowy nowych radiopław satelitarnych EPIRB Cospas/SARSAT 406MHz wyposażonych w transpondery AIS i odbiorniki satelitarne GNSS. Urządzenia takie są określane akronimem AIS/GNSS EPIRBs. Zastosowanie transponderów AIS zasadniczo

ułatwia identyfikację i lokalizację tego rodzaju radioplaw gdy zostaną użyte w sytuacjach zagrożenia życia na morzu.

Od pewnego czasu służby SAR na swoich jednostkach mogą używać do identyfikacji i lokalizacji indywidualnych transponderów AIS, dedykowanych do tych celów, nazywanych AIS SART. Analizowana jest obecnie koncepcja wyposażania wszystkich jednostek morskich w transpondery alarmowe AIS-SART, które w przyszłości miałyby zastąpić mało efektywne alarmowe transpondery radarowe SART.

Jak już wspomniano, obecnie jest rozwijana również technika indywidualnych, personalnych transponderów AIS dla zabezpieczania członków załóg w przypadku wypadnięcia za burtę, urządzenia te są określane akronimem AIS MoB.

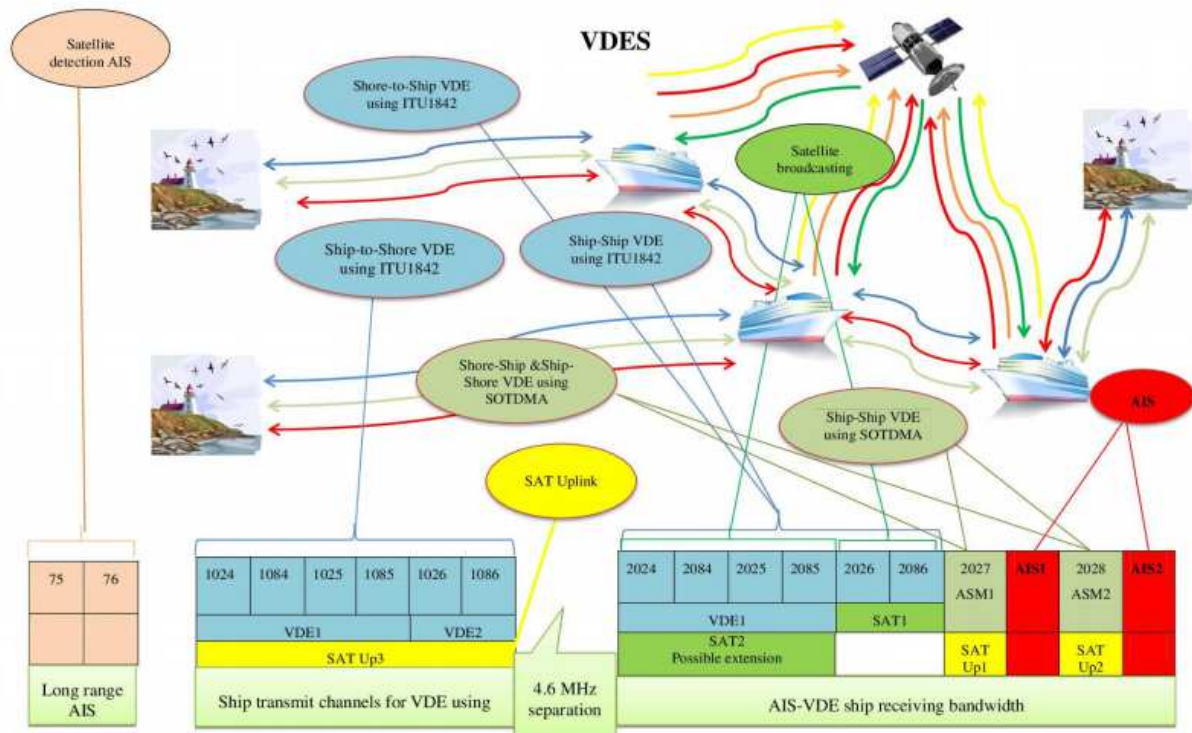
Prace nad tymi systemami zaowocują koniecznością zmiany organizacji w sensie widmowym morskiego pasma VHF. Już obecnie na forum WP5B dyskutuję się kwestie przydziału nowych kanałów dla systemu AIS i przydziału częstotliwości dla nowego systemu, który na początku krótko był nazywany AIS2 a obecnie uzyskał nazwę VDES (VHF Data Exchange System) i jest nową generacją systemu AIS.

Obecnie gwałtownie rozwija się również segment satelitarny systemu AIS (SAT-AIS). Planuje się również w ramach prac nad systemem VDES zwiększyć zasoby częstotliwościowe dedykowane tylko do transmisji satelitarnych AIS. Powstaje pod auspicjami ESA (Europejska Agencja Kosmiczna) i EMSA (Europejska Agencja Bezpieczeństwa na Morzu) europejski, zintegrowany system SAT-AIS. Polska jest również uczestnikiem tych prac.

### **3.1.5 VDE i VDES**

Trzy lata temu, Europejska Agencja Kosmiczna zaproponowała aby rozszerzyć funkcjonalności systemu AIS oraz dokonać integracji segmentu naziemnego i satelitarnego AIS. Tak narodziła się koncepcja VDE – VHF Data Exchange. Na bazie tej koncepcji, grupa państw europejskich zaproponowała nową ewolucję systemu AIS nazywaną VDES.





W systemie VDES, którego koncepcję zaprezentowano powyżej, planuje się wykorzystać, oprócz „klasycznych” kanałów VHF AIS o szerokości 25kHz, również kanały powstałe z połączenia wielu kanałów morskiego pasma VHF o szerokościach 50kHz, 100kHz.

### 3.1.6 Terminale typu andheld VHF-DSC, UHF 400 MHz i SatCom

W nowych aplikacja morskich, planuje się wprowadzić nowe terminale noszone zarówno VHF-DSC, jak i VHF 400MHz (do celów komunikacji wewnętrznej) oraz SatCom. Terminale te w przynajmniej w przypadku terminali VHF-DSC oraz SatCom będą wyposażone w opcję alarmowania w niebezpieczeństwie. Wymagać to będzie przynajmniej prac nad nowa organizacją morskiego pasma VHF oraz stworzenia nowych procedur łączności alarmowej.

### 3.1.7 Systemy transmisji danych w morskich pasmach MF/HF (MF/HF e-mail)

System radioteleksowy NBDP całkowicie zużył się technicznie i praktycznie wyszedł z użytku. Środowisko radiokomunikacji morskiej utrzymuje, że cały czas istnieje potrzeba stworzenia nowoczesnego systemu transmisji danych, który by go zastąpił. Istnieją już stosowne rekomendacje ITU. Roboczo nowy system jest nazywany MF/HF e-mail. Już

obecnie w niektórych morskich pasmach MF i HF ITU dopuściło zmianę siatki kanałów i możliwość ich użytkowania dla celów transmisji danych w raz z oficjalnym wprowadzeniem systemu MF/HF e-mail pasma morskie w tych zakresach częstotliwości będą wymagały kolejnej, rozległej reformy. Zgodnie z rekomendacjami ITU nowy system ma być wersją rozwojowa i działać w oparciu o standard PACTOR 3.

### **3.1.8 System transmisji danych w morskim paśmie VHF (VHF Data)**

Równolegle z pracami nad systemem MF/HF e-mail trwają prace nad systemem transmisji danych w paśmie VHF dla potrzeb realizacji chociażby takich usług jak e-mail. Istnieje kilka rozwiązań firmowych w tym obszarze. Najbardziej rozwinięte są aplikacje wdrażane przez norweski Telenor. Systemy te są roboczo nazywane VHF Data. Wykorzystują zazwyczaj kanały będące wielokrotnością kanału o szerokości 25 kHz. Rozwój tych systemów wymusza również reorganizację morskiego pasma VHF.

### **3.1.9 Podsystem EPIRB 406 MHz - MEO SAR**

Projekt Cospas/SARSAT wdraża nowy segment systemu EPIRB 406 MHz wykorzystujący transpondery umieszczone na satelitach GPS Block III i Galileo. Podniesie to zasadniczo szybkość działania, funkcjonalność i niezawodność systemu alarmowania EPIRB. Ponieważ system ten jest obecnie wykorzystywany na morzu, na lądzie i w lotnictwie i popularność jego zasadniczo rośnie, gwałtownie rośnie populacja nadajników alarmowych EPIRB. Wymaga to zwiększenia w przyszłości liczby kanałów (podnośnych) w paśmie 406-406,1 MHz oraz szczególnej ochrony tego zakresu częstotliwości przed zakłóceniami.

### **3.1.10 Cyfrowa transmisja sygnałów mowy**

Bardzo ważnym elementem systemów łączności na morzu jest transmisja sygnałów mowy również w przypadku łączności alarmowej i bezpieczeństwa. Obecnie we wszystkich pasmach morskich (VHF, MF, HF) wykorzystywane są nieefektywne widmowo, radiowe techniki analogowe. Od wielu lat trwa presja ITU na IMO aby ten fakt zmienić. Podejmowano wiele prac technicznych oraz prób legislacyjnych aby zmienić tą sytuację. Jak



do tej pory bez powodzenia. Wydaje się jednak, że w najbliższych latach problem zostanie ponownie podjęty i wymusi całkowitą reorganizację wspomnianych powyżej morskich zakresów częstotliwości.

### **3.1.11 Nowe systemy radarów nawigacyjnych**

W nawigacji morskiej wykorzystywane są nadal radary nawigacyjne działające w oparciu o nieefektywną widmowo i energetycznie technikę impulsową. Na przykład w paśmie 3 cm dla radarów morskich jest przeznaczony pasmo 300MHz od 9,2-9,5 GHz. Istnieją już radary nawigacyjne morskie z falą ciągłą. Od kilku lat trwa presja ITU na IMO aby dokonać zmiany techniki radarów nawigacyjnych i zacząć wykorzystywać nowsze rozwiązanie o wyższej efektywności widmowej. Zapewne w najbliższych latach dojdzie do zmiany w tym zakresie i tym samym do zmiany zagospodarowania pasm częstotliwości przeznaczonych dla morskich radarów nawigacyjnych.

## **3.2 E- Nawigacja – potrzeby widmowe**

e-Nawigacja jest obecnie nazywana strategią. Powstała ogólna, holistyczna definicja e-Nawigacji, która nie uzyskała jeszcze oficjalnego tłumaczenia na język polski.

Definicja w języku angielskim jest następująca:

*“e-Navigation is the harmonized collection, integration, exchange, presentation and analysis of marine information on board and ashore by electronic means to enhance berth to berth navigation and related services for safety and security at sea and protection of the marine environment”*

Podstawą wdrożenia e-Nawigacji są systemy łączności, najlepiej żeby były szerokopasmowe i dostępne w różnych technikach radiokomunikacyjnych na wszystkich morzach i oceanach na Ziemi.

Prace i dyskusje nad potrzebami są realizowane na forum IMO – obecnie podkomitetu NCSR, a konkretnie Technicznej Grupy roboczej tegoż Podkomitetu, wspólnej grupy roboczej ekspertów IMO – ITU, IMO/ITU JWG (Joint Working Group), ITU WP5B oraz niektórych grup roboczych CEPT. W obszarze e-Nawigacji pod uwagę są również brane wyniki prace IALA.

Mimo tego, że IMO zarezerwował w ITU i w agendzie na WRC15 możliwość zgłoszenia nowych potrzeb widmowych dla szeroko rozumianej e-Nawigacji, to nie przygotowano żadnej spójnej propozycji w tym zakresie. Podjęto decyzję, że najpierw powinny zostać zdefiniowane funkcjonalności i usługi e-Nawigacji i dopiero na tej podstawie powinny zostać określone szczegółowe propozycje zapotrzebowania na nowe zasoby widmowe. Oczywiście będą trwały prace w zakresie gospodarki widmem na potrzeby reformowanych czy nowo tworzonych systemów takich jak Nowy GMDSS czy VDES, które w przyszłości staną się być może elementami szeroko rozumianej e-Nawigacji.

### **3.3 Stanowisko IMO w zakresie gospodarki widmowej na WRC15**

#### **Agenda Item 1.1**

- .1 406 – 406.1 MHz in use for Cospas-Sarsat;
- .2 1518-1559 MHz in use for satellite terminals on board SOLAS ships;
- .3 1559-1610 MHz in use for RNSS;
- .4 1626.5-1660.5 MHz in use for satellite terminals on board SOLAS ships;
- .5 1668-1675 MHz in use as uplink paired with the downlink 1518-1525 MHz for satellite communications;
- .6 2900-3100 MHz in use for Maritime radionavigation (S-band radar); and
- .7 3400-4200 MHz partly in use for feeder links of Inmarsat.

IMO zwróci się o szczególną ochronę pasm:

#### **Agenda Item 1.8**

IMO zwróci się o zmianę sposobu wykorzystania zakresów częstotliwości VSAT przez ESVs – statkowe stacje VSAT. Dotyczy to pasm 14-14,5 GHz i 5925-6425MHz.

#### **Agenda Item 1.12**

IMO zwróci się o dalszą ochronę pasma morskich radarów nawigacyjnych 9200-9500MHz.

#### **Agenda Item 1.15**

IMO wesprze propozycję zmiany szerokości kanałów w systemach UHF (420-460MHz) wykorzystywanych na pokładach statków z 25kHz na 12,5 kHz

### **Agenda Item 1.16**

IMO będzie wnioskować o przydziały nowych częstotliwości dla VDE i tym samym systemu VDES.

### **Agenda Item 9.1 Issue 9.1.1**

W związku z proponowaną alokacją pasm 380-470MHz dla systemów PPDR, IMO będzie wnioskować o szczególną ochronę zakresu 406-406,1 MHz wykorzystywanego przez system EPIRB Cospas/SARSAT.

### **Agenda Item 10**

IMO będzie wnioskować aby w Uchwale (Resolution) 808 (WRC12) utrzymać punkt agendy 2.1 na WRC18 dotyczący alokacji częstotliwości wspierających modernizację systemu GMDSS i rozwój e-Nawigacji.

## **4 Kompatybilność systemów ARNS i DVB-T w paśmie II dywidendy cyfrowej**

### **4.1 Wstęp**

W niniejszym rozdziale przedstawiono problemy związane z planami ITU-R dotyczącymi udostępnienia zakresu częstotliwości 694-790 MHz, nazywanego pasem 700 MHz lub pasmem drugiej dywidendy cyfrowej, dla służby ruchomej (WRC-12 Uchwała 232 [1, 2]). Głównym celem tej części opracowania jest analiza warunków i kryteria ochrony służby radionawigacji lotniczej (ARNS) przed szkodliwymi zakłóceniami ze strony stacji naziemnej telewizji cyfrowej (DVB-T) oraz ze strony stacji bazowych służby ruchomej (sieci systemu LTE i/lub LTE-A) pracujących w tym samym paśmie częstotliwości. Analiza warunków kompatybilności pomiędzy służbą ruchomą i innymi służbami wykorzystującymi obecnie zakres 694-790 MHz ma związek z przygotowaniem ITU-R do WRC-15.

Pasmo 700 MHz wydzielono z zakresu częstotliwości 470-790 MHz, który we wszystkich Regionach ITU, por. Rys. 4-1, jest przeznaczony na zasadzie służby pierwszej ważności dla radiodifuzji i jest obecnie wykorzystywany przez naziemne stacje telewizyjne oraz lokalnie na zasadzie służby drugiej ważności (RR, Uwaga 5.296) przez urządzenia używane do realizacji programów i obsługi imprez (PMSE), np. systemy mikrofonów bezprzewodowych, systemy ENG/OB elektronicznego gromadzenia wiadomości i łączności reporterskiej, lub systemy łączności wykorzystywane podczas produkcji filmów, reklam i programów (SAB/SAP). Możliwość użytkowania częstotliwości w zakresie 645-862 MHz przez służbę radionawigacji lotniczej (ARNS), na zasadzie służby pierwszej ważności, dotyczy tylko obszaru niektórych państw w Regionie 1, wymienionych w Regulaminie Radiokomunikacyjnym [3] w Uwadze 5.312, w tym sąsiadujących z Polską: Rosji, Białorusi i Ukrainy.



## 4.2 Wykorzystanie częstotliwości w systemie DVB-T

W zakresie UHF 470-862 MHz, por. Rys. 4-2, kanały telewizyjne mają szerokość 8 MHz, a ich częstotliwości środkowe wyznaczone zgodnie z formułą:

$F_c = 474 \text{ MHz} + (k - 21) \times 8 \text{ MHz}$ , gdzie  $k = 21 \dots 69$  jest numerem kanału.

Zakres 790-862 MHz, nazywany pasmem 800 MHz (pierwszej dywidendy cyfrowej), obejmujący dziewięć kanałów telewizyjnych o numerach od 61 ( $F_c = 794 \text{ MHz}$ ) do 69 ( $F_c = 858 \text{ MHz}$ ), już wcześniej wskutek decyzji WRC-07 przeznaczono dla służby ruchomej.

Zakres 790-862 MHz, nazywany pasmem 700 MHz (drugiej dywidendy cyfrowej), którego wykorzystywanie przez różne służby jest przedmiotem niniejszej analizy, obejmuje 12 kanałów telewizyjnych o numerach od 49 ( $F_c = 698 \text{ MHz}$ ) do 60 ( $F_c = 786 \text{ MHz}$ ).

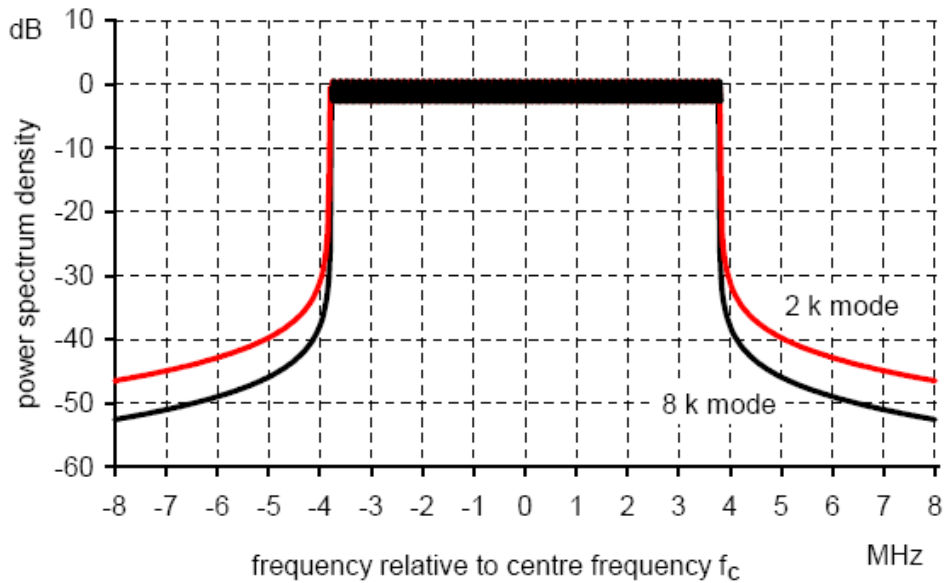
Podstawowe charakterystyki cyfrowego systemu emisji telewizji przez stacje naziemne (systemu DVB-T) określono w normie ETSI EN 300 744 [4]. W systemie ETSI DVB-T zdefiniowano dwa tryby pracy różniące się parametrami modulacji OFDM: "tryb 8K" (8K mode) i "tryb 2K" (2K mode), por. Tab. 4-1.

Tab. 4-1: Parametry OFDM w trybie 8K i 2K dla kanałów DVB-T o szerokości 8 MHz

Parametr systemu	Tryb 8K	Tryb 2K
Liczba nośnych OFDM	6817	1705
Liczba nośnych użytecznych w sygnale RF	6048	1512
Liczba nośnych - pilotów w sygnale RF	177	45
Czas $T_U$ pojedynczego symbolu modulacji, gdzie dla kanału o szerokości 8 MHz: $T = 7/64 \mu\text{s}$	$8192 \times T$	$2048 \times T$
Czas $T_U$ pojedynczego symbolu modulacji	$896 \mu\text{s}$	$224 \mu\text{s}$
Odstęp częstotliwości pomiędzy nośnymi OFDM: $1/T_U$	1116 Hz	4464 Hz
Odstęp pomiędzy nośnymi o numerach $K_{\text{MIN}}$ i $K_{\text{MAX}}$ , gdzie $K_{\text{MIN}} = 0$ i $K_{\text{MAX}} = K - 1$	7,61 MHz	7,61 MHz

Widmowa gęstość mocy (power spectral density, psd) standardowej emisji DVB-T w kanale radiowym, jest sumą widmowej gęstości mocy wszystkich nośnych OFDM. Teoretyczna

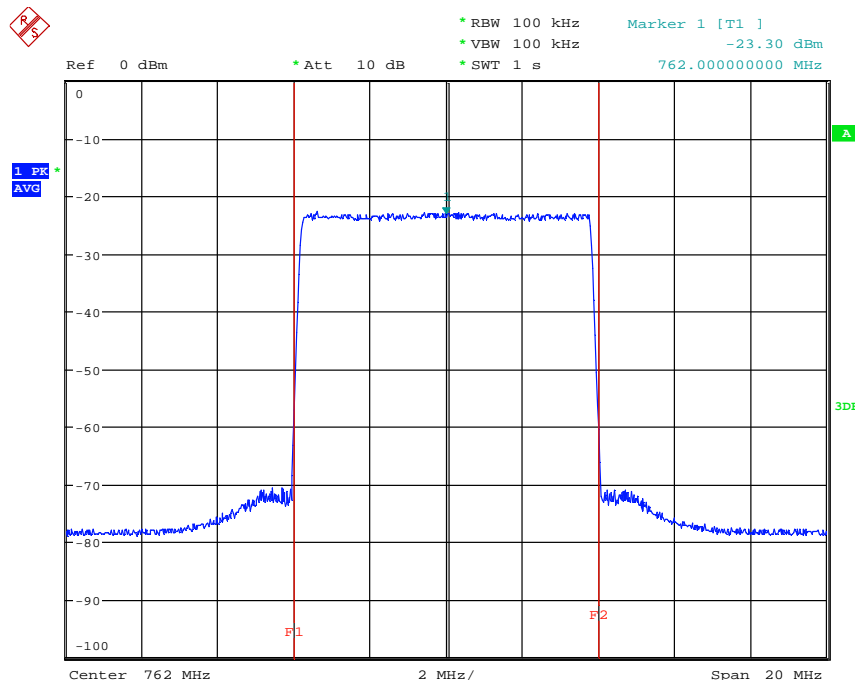
(ETSI EN 300 744 rozdz. 4.8) szerokość pasma emisji w trybie 8K wynosi 7,608259 MHz, a w trybie 2K wynosi 7,611607 MHz, por. Rys. 4-3.



Rys. 4-3: Teoretyczna widmowa gęstość mocy (psd) sygnału DVB-T w kanale RF o szerokości 8 MHz dla odstępów ochronnych emisji  $\Delta = T_u/4$ , wg ETSI EN 300 744 [4]  
Objaśnienie:

Oś Y: Widmowa gęstość mocy, psd [dB]

Oś X: Częstotliwość względem środkowej częstotliwości kanału  $F_c$  [MHz]



Rys. 4-4: Widmowa gęstość mocy sygnału DVB-T (kanał 57,  $F_c = 762,0$  MHz), zmierzona za pomocą analizatora widma w trybie z uśrednianiem (average). Czerwone linie wskazują granice kanału  $F_1 = 758,0$  MHz,  $F_2 = 766,0$  MHz

Ze względu na mało znaczącą zależność teoretycznej szerokości pasma od zastosowanego trybu transmisji (różnica 3,348 kHz) dla potrzeb analizy kompatybilności systemów wykorzystujących pasmo 700 MHz można przyjąć, że niezależnie od używanego trybu pracy energia radiowego sygnału DVB-T jest równomiernie rozłożona w paśmie o szerokości  $\approx 7,61$  MHz

Przykład zarejestrowanej za pomocą analizatora widma, charakterystyki widmowej gęstości mocy sygnału DVB-T, wytworzonego za pomocą generatora laboratoryjnego w kanale nr 57 ( $F_c = 762,0$  MHz), przedstawiono na Rys. 4-4. Charakterystyka ta potwierdza, że istotna część energii sygnału DVB-T jest zawarta w paśmie o szerokości  $\approx 7,61$  MHz. Gęstość mocy sygnału DVB-T w kanałach sąsiednich jest o ponad 40 dB mniejsza.

#### Parametry sieci nadawczej DVB-T w Polsce [7]

Zakres częstotliwości: 470-862 MHz, docelowo do 790 MHz

Odstęp kanałowy: 8 MHz

Szerokość pasma: 7,61 MHz

Tryb transmisji: 8k

Struktura sieci: MFN/SFN

Minimalna mediana natężenia pola użytecznego  $E_{med}$ :

- tryb C3 (64-QAM, współczynnik sprawności kodowania 3/4): 54,2 dB $\mu$ V/m @ 500 MHz, – stosowany jako podstawowy;
- tryb C5 (64-QAM, współczynnik sprawności kodowania 5/6): 55,7 dB $\mu$ V/m @ 500 MHz, – dopuszczalny w rozległej sieci SFN.

Uwaga. Do planowania sieci założono odbiór stacjonarny anteną kierunkową na 10 m n.p.t. zgodnie z planem GE06 (TABLE A.3.2-2) [8]. Dla innych częstotliwości wartość jest korygowana zgodnie z formułą  $E_{med}(f) = E_{med}(500) + Cor$ , gdzie:  $Cor = 20 \times \log(f/f_{500})$ , dla  $f$  w [MHz].

Dopuszczalne zakłócenie od stacji krajowej na granicy wspólnokanałowego polskiego obszaru rezerwacji (1% czasu): 46 dB $\mu$ V/m.

Uwaga. Dla innych częstotliwości wartość jest korygowana o  $Cor = 30 \times \log(f/f_{650})$ , dla  $f$  w [MHz].

Wg międzynarodowych ustaleń przyjętych przez Regionalną Konferencję Radiokomunikacyjną (RRC-06) [8] do obliczania natężenia pola elektrycznego w celu wyznaczenia poziomu sygnału użytecznego lub poziomów zakłócających od poszczególnych stacji DVB-T należy



stosować metodę zatwierdzoną podczas tej konferencji, opisaną w Aneksie 2.1 (zwaną GE06), lub metodę według Zalecenia ITU-R P.1546-4 [9].

Uwaga. Stosowanie metody GE06 wymaga uwzględnienia danych topograficznych terenu

### **4.3 Wykorzystanie częstotliwości w systemie LTE**

Parametry radiowe systemu radiokomunikacji ruchomej LTE, nazywanego także E-UTRA, określono w specyfikacjach 3GPP i w odpowiednich dokumentach ETSI: 3GPP TS 36.211 (ETSI TS 136 211) [10], 3GPP TS 36.104 (ETSI TS 136 104) [11], 3GPP TS 36.101 (ETSI TS 136 101) [12].

W specyfikacjach 3GPP/ETSI dla potrzeb systemu LTE wskazano różne pasma częstotliwości (E-UTRA frequency bands), z zastosowaniem duplexu w dziedzinie częstotliwości (FDD) lub duplexu w dziedzinie czasu (TDD), w kanałach radiowych o szerokości: 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz i 20 MHz. Aktualnie specyfikacje te nie obejmują sposobu wykorzystania zakresu 694-790 MHz, ponieważ decyzje odnośnie przeznaczenia w Regionie 1 ITU całego lub części tego zakresu dla potrzeb systemów IMT, takich jak LTE i/lub LTE-A, mają być podjęte podczas WRC-15.

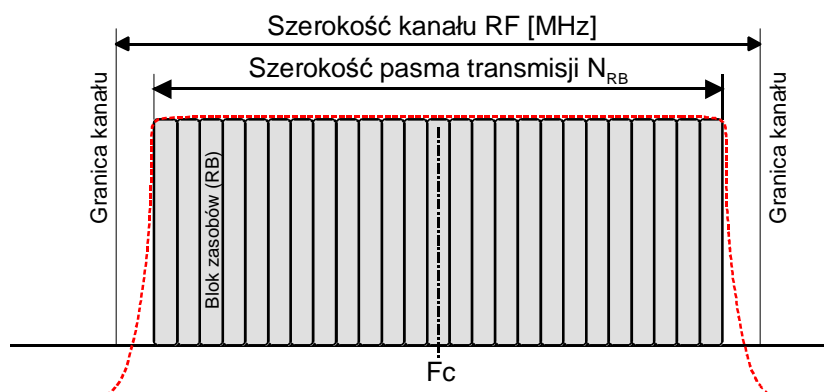
W znanych propozycjach dotyczących aranżacji kanałów dla systemów ruchomych w paśmie 700 MHz zakłada się zastosowanie duplexu FDD z przeznaczeniem dolnej części zakresu dla emisji urządzeń użytkowników (up-link, UL), a górnej części zakresu dla emisji stacji bazowych (down-link, DL). Ze względu na akceptowalną dla użytkowników przepływność sieci dla transmisji danych minimalną szerokością kanału duplexowego LTE/LTE-A, którą należy brać pod uwagę jest  $2 \times 5$  MHz, a maksymalną ze względu na dostępne pasmo  $2 \times 40$  MHz.

W systemie LTE jest stosowana modulacja OFDM polegająca na tym, że dane użytkowników systemu są przesyłane z wykorzystaniem wielu modulowanych podnośnych rozmieszczonych w paśmie kanału radiowego w odstępach 15 kHz. Liczba używanych podnośnych jest zdefiniowana w specyfikacji systemu zależnie od szerokości przydzielonego kanału radiowego, Tab 4-2 i Rys.4-5.

Tab. 4-2: Szerokości pasma transmisji stacji bazowej LTE

Szerokość kanału RF (BW <sub>Channel</sub> ) [MHz]	5	10	15	20
N <sub>RB</sub>	25	50	75	100
Liczba używanych podnośnych	300	600	900	1200
Pasmo transmisji DL [MHz]	4,5	9,0	13,5	18,0

gdzie: liczba N<sub>RB</sub> jest podawana w jednostkach tzw. bloku zasobów (resource blocks, RB), a jeden blok zasobu składa się z 12 podnośnych (N<sub>SC</sub> = 12) OFDM z odstępem co 15 kHz, stąd szerokość pasma skojarzona z jednym RB wynosi 180 kHz, a odpowiednio pasmo zajmowane przez emisję stacji bazowej jest zależne od nominalnej szerokości kanału radiowego.



Rys. 4-5: Struktura widma sygnału stacji bazowej LTE

Przykłady zarejestrowanych za pomocą analizatora widma, charakterystyk widmowej gęstości mocy sygnału LTE ( $F_c = 762,0$  MHz) o tej samej mocy wytworzonego za pomocą generatora laboratoryjnego w kanałach o szerokości 5 MHz i 20 MHz przedstawiono na Rys. 4-6 i Rys. 4-7. Charakterystyki te pokazują, że przy tej samej mocy nadajnika widmowa gęstość mocy sygnału LTE jest odwrotnie proporcjonalna do szerokości kanału RF, np. marker na Rys. 4-6 (kanał 5 MHz) wskazuje gęstość mocy  $-21,28$  dBm, a marker na Rys. 4-7 (kanał 20 MHz) wskazuje gęstość mocy  $-27,25$  dBm, różnicy  $-6,03$  dB odpowiada w skali liniowej stosunek 1:4.



**4.4** Systemy radionawigacji lotniczej Systemy wykorzystywane w służbie radionawigacji lotniczej (ARNS) są zestawami urządzeń radioelektronicznych, służącymi do wyznaczania pozycji samolotu lub śmigłowca względem punktu odniesienia, którym jest zwykle lokalizacja naziemnej stacji systemu. Ponieważ ARNS są służbami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo samolotów wymagają szczególnej ochrony przed szkodliwymi zakłóceniami ze strony innych służb.

W zakresie częstotliwości 645-862 MHz (obejmującym zakres 694-790 MHz, którego dotyczy niniejsze opracowanie) wcześniej w ZSRR, a obecnie w Rosji i krajach WNP, były lub są nadal używane trzy rodzaje systemów ARNS [14 - 27]:

- radary pierwotne,
- radary wtórne,
- tzw. radiowe systemy bliskiej nawigacji, RSBN.

Systemy radarów pierwotnych i wtórnych są urządzeniami wykorzystywanymi przez naziemne służby kontroli ruchu lotniczego do obserwacji przestrzeni wokół lotnisk i pozyskiwania informacji o obecności i parametrach lotu samolotów, a w przypadku radarów wtórnych także do ich identyfikacji. Natomiast systemy RSBN są urządzeniami radionawigacyjnymi udostępniającymi informacje załogom samolotów o ich położeniu względem radiolatarni, której sygnały odbiera aparatura pokładowa.

#### **4.4.1 Radary pierwotne**

Radary pierwotne w nawigacji lotniczej są stosowane do wykrywania obiektów (samolotów i śmigłowców) i określania ich odległości i azymutu. Zasada działania polega na wypromieniowaniu w kierunku obiektu fali radiowej i detekcji jej odbicia od wykrytego obiektu (echa). Ponieważ prędkość fali radiowej w powietrzu jest stała i znana, to analiza parametrów sygnału odbitego umożliwia obliczenie odległości pomiędzy stacją radarową i obiektem, który spowodował odbicie fali. Natomiast azymut jest określany na podstawie aktualnego położenia anteny radaru obracającej się w zakresie 0-360°.

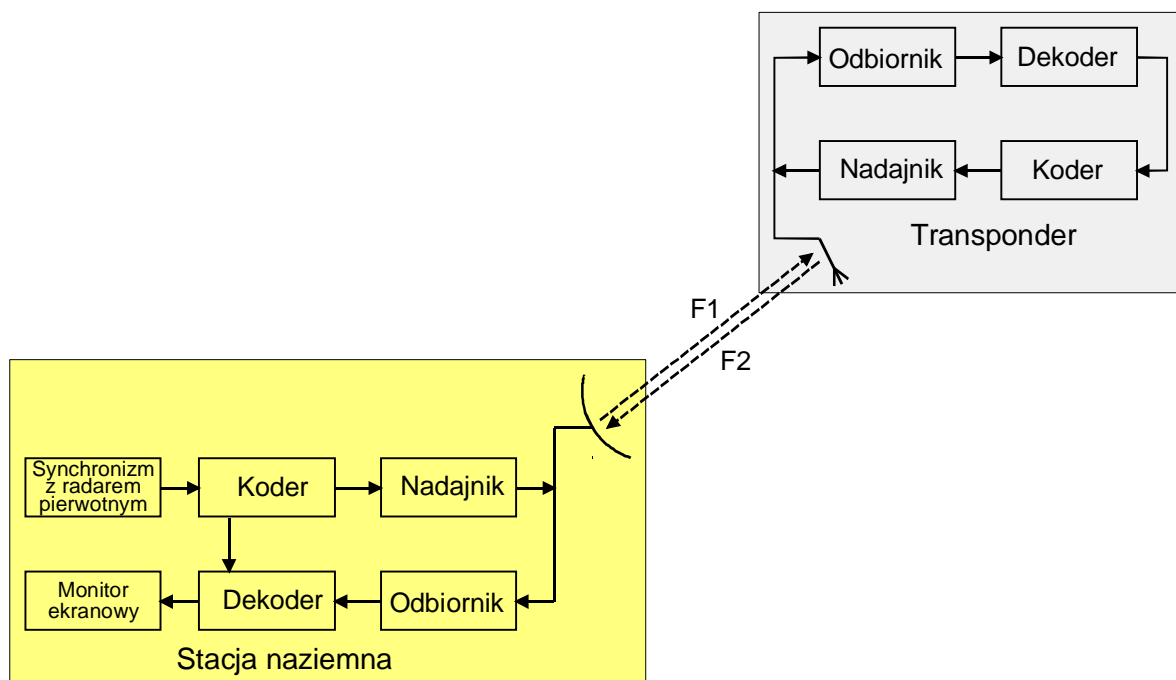
Radar pierwotny składa się z trzech podstawowych części: nadajnika, systemu antenowego i odbiornika. Nadajnik jest źródłem impulsowego sygnału radiowego dużej mocy. System antenowy o odpowiednich charakterystykach kierunkowych skupia energię promieniowanej fali, a także odbiera falę odbitą od śledzonego obiektu i przesyła sygnał do odbiornika. Jeśli do nadawania i odbioru jest używana ta sama antena, to te czynności są wykonywane

naprzemian, aby chronić wzmacniacze w torze odbiorczym stacji przed energią sygnału nadajnika. Odbiornik przetwarza radiowy sygnał echa na informację o pozycji wykrytego obiektu.

#### 4.4.2 Radary wtórne

Radary wtórne wprowadzono w lotnictwie dla potrzeb rozpoznawania samolotów. Cechą charakterystyczną radarów wtórnych jest wykorzystywanie aktywnych urządzeń odzewowych, tzw. transponderów, zainstalowanych w samolocie. Radary wtórne składają się z dwóch zestawów urządzeń, por. Rys. 4-8:

- stacji naziemnej: wyposażonej w nadajnik (częstotliwości F1), kierunkową antenę, koder znaczników azymutu, odbiornik (częstotliwości F2) z procesorem przetwarzającym sygnały odbierane z transponderów zainstalowanych w samolotach;
- transponderów instalowanych w samolotach, składających się odbiornika (częstotliwości F1) z dekoderm, nadajnika (częstotliwości F2) z koderem i ich anteny.



Rys. 4-8: System radaru wtórnego

Radary wtórny jedynie uzupełnia radar pierwotny, ponieważ "widzi" tylko samoloty wyposażone w transpondery dostrojone do jego częstotliwości, umożliwiając za to ich

identyfikację i określenie wysokości lotu. Z tego względu najczęściej oba rodzaje radaru są montowane razem.

W Rosji i innych krajach byłego ZSRR systemy kontroli ruchu powietrznego (ответчики управления воздушным движением, УВД) wykorzystują częstotliwości 837,5 MHz dla nadajników stacji naziemnej oraz 730 MHz, 740 MHz dla nadajników aparatury w samolocie. Ale np. aparatura naziemna zmodernizowanego systemu RSP-10MA może nadawać zapytanie na częstotliwości 1030 MHz zgodnie ze standardem ICAO i odbierać odpowiedź na częstotliwości 740 MHz. Może także pracować nadawać na częstotliwości 1030 MHz i odbierać na częstotliwości 1090 MHz [22].

#### **4.4.3 Radiowe systemy bliskiej nawigacji (RSBN)**

Nazwa radiowy system bliskiej nawigacji (z ros. радиотехническая система ближней навигации) obejmuje systemy, które obecnie używane są w zasadzie tylko w lotnictwie wojskowym. Podstawowym zadaniem systemów RSBN jest ciągle przekazywanie załodze samolotu informacji o aktualnym azymucie i aktualnej odległości skośnej (bezpośredniej) w stosunku do punktu lokalizacji radiolatarni funkcjonującej w tym systemie. Wyposażenie systemu RSBN stanowi aparatura instalowana w samolotach i stacja naziemna nazywana radiolatarnią ustawiana zwykle na lotnisku, por. Rys. 4-9. Częstotliwości pracy aparatury wybiera ręcznie pilot.

Określenie "system RSBN" nie jest jednoznaczne ponieważ opracowana w ZSRR pierwotna wersja systemu РСБН-2Н była kilka razy modernizowana a w eksploatacji znajdują się nowsze wersje oznaczone РСБН-4Н, РСБН-6Н, a ostatnio РСБН-8Н.



Rys. 4-9: Naziemna stacja systemu RSBN-4N (PCBH-4H)

Pokładowe wyposażenie samolotu wyznacza odległości pomiędzy samolotem i naziemną stacją systemu RSBN na podstawie pomiaru czasu jaki upływa pomiędzy wysłaniem przez tą aparaturę kodowanego zapytania i odbiorem odpowiedzi ze stacji naziemnej. W drugim etapie stacja naziemna w odpowiednim momencie wysyła zapytanie, a stacja samolotu odpowiada podając zmierzoną odległość.

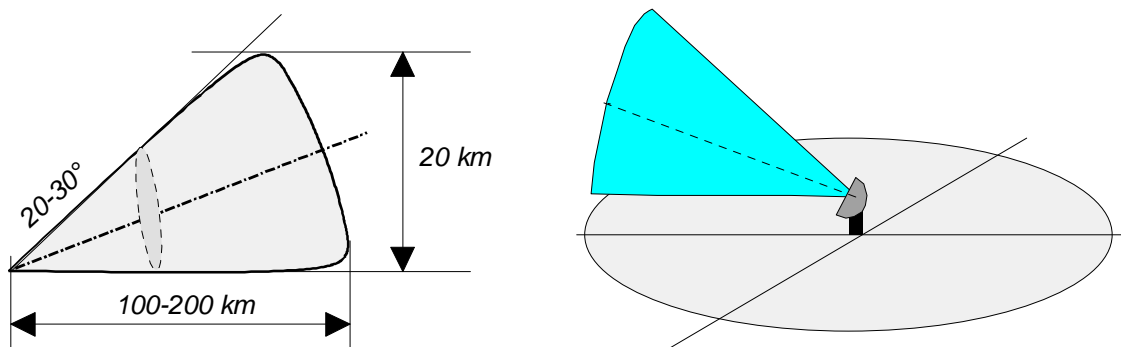
Pokładowe wyposażenie samolotu wyznacza azymut na podstawie pomiaru czasu jaki upływa pomiędzy dwoma sygnałami wysłanymi przez dwie anteny stacji naziemnej. Obracana ze stałą prędkością w zakresie  $360^\circ$  kierunkowa antena radiolatarni systemu RSBN formuje wiązkę z dwoma wąskimi, położonymi symetrycznie względem osi anteny, bocznymi listkami charakterystyki promieniowania. W momencie, gdy minimum charakterystyki tej kierunkowej anteny pokrywa się z kierunkiem północy, radiolatarnia wysyła dodatkowy kodowany sygnał wykorzystując antenę o charakterystyce bezkierunkowej. Aparatura pokładowa mierzy odstęp czasu pomiędzy odebrany sygnałem z anteny bezkierunkowej (nadawanym, gdy wiązka anteny kierunkowej jest skierowana na północ) a minimum sygnału



anteny kierunkowej odebrany, gdy oś charakterystyki tej anteny jest skierowana na samolot, i znając stałą szybkość obrotów anteny radiolatarni oblicza aktualny azymut samolotu.

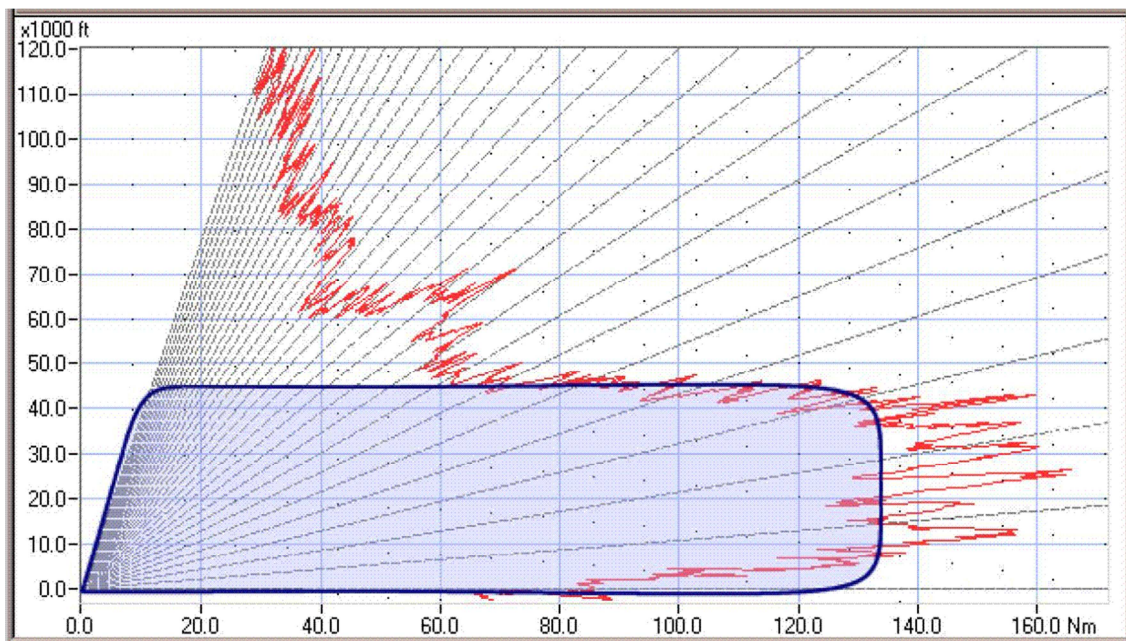
#### 4.4.4 Charakterystyki kierunkowe anten urządzeń ARNS

W przypadku radarów obserwacyjnych stosowanych do kontroli obszaru powietrznego, które przeszukują przestrzeń za pomocą obracającej się anteny, pożądaną jest wiązka promieniowania anteny wąska w płaszczyźnie poziomej (w celu uzyskania wymaganej rozdzielczości kątowej), a szeroka w płaszczyźnie pionowej z kątem elewacji od  $0^\circ$  do prawie  $90^\circ$  (w celu wykrywania w otaczającej przestrzeni obiektów znajdujących się na różnej wysokości i w różnej odległości od anteny radaru). Charakterystyka tego rodzaju (Rys. 4-10) w angielskiej literaturze jest nazwana "fan beam", czyli z wiązką o kształcie wachlarza, a w polskiej "płetwową".



Rys. 4-10: Kształt charakterystyki zasięgu radaru z anteną "fan beam"

Innym rodzajem anten projektowanych dla radarów obserwacyjnych są anteny z charakterystyką typu cosecans kwadrat ( $\text{cosecans}^2$ ), stosowane w celu uzyskania bardziej równomiernego poziomu sygnału na wejściu odbiornika radaru, gdy samolot przemieszcza się w przestrzeni objętej jego zasięgiem na stałej wysokości. Można wykazać [26], że jeżeli samolot leci na stałej wysokości, to moc sygnału odbieranego będzie stała, jeżeli zysk anteny  $G$  jest zależny od wysokości  $h$  i kąta elewacji  $\varepsilon$  zgodnie z formułą:  $G \sim (h \text{ cosec } \varepsilon)^2$ , gdzie:  $\text{cosec } \varepsilon = 1/\sin \varepsilon$ . Zatem przy założeniu  $h = \text{const}$  zysk anteny radaru powinien być proporcjonalny do  $\text{cosec}^2 \varepsilon$ . Przykład przedstawiający przekrój pionowy strefy obserwacji radaru (tzw. Vertical Coverage Diagram) z tego typu charakterystyką przedstawiono na Rys. 4-11.



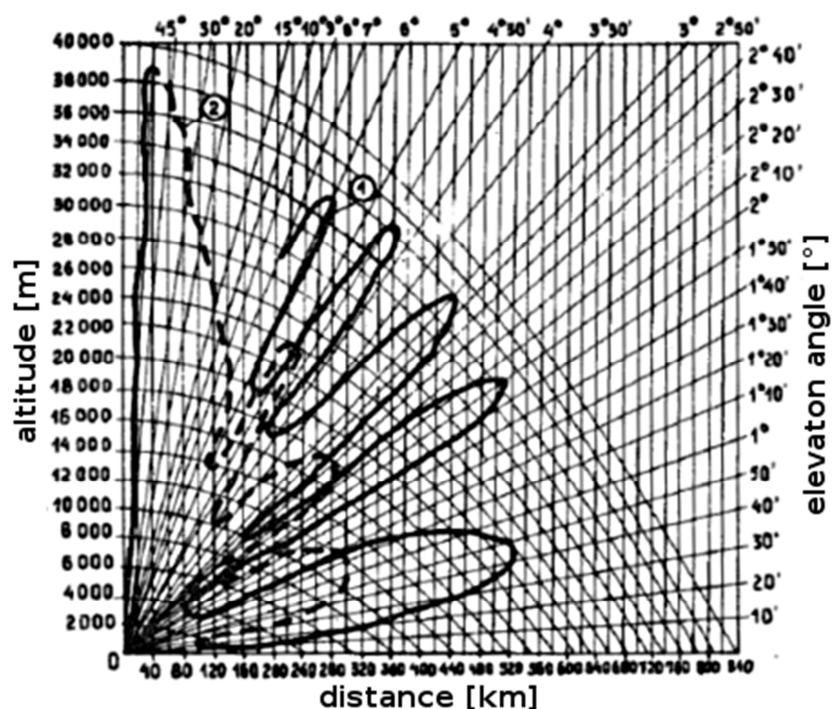
Rys. 4-11: Strefa obserwacji radaru z anteną o charakterystyce cosecans<sup>2</sup> [26]

Kontur niebieski przedstawia charakterystykę pożądaną,  
a kontur czerwony przykład charakterystyki zmierzonej.

Objaśnienie:

- na osi poziomej odległość w milach morskich; 1 NM = 1852 m, zatem 20,0 Nm = 37,04 km, i kolejne działki skali: 74,08; 111,12; 148,16; 185,2; 222,24; 259,28; 296,32 km
- na osi pionowej wysokość w 1000 stóp; 1000 ft = 304,8 m, zatem kolejne działki skali: 10 000 ft = 3,048 km, 20 000 ft = 6,096 km, 30 000 ft = 9,144 km, 40 000 ft = 12,192 km, 50 000 ft = 15,24 km, itd.
- kolejne linie siatki kąta elewacji co 1° w zakresie od 1° do 32°

Na Rys. 4-12 przedstawiono przekrój pionowy strefy obserwacji anteny odbiorczej stacji naziemnej systemu RSBN.



Rys. 4-12: Strefa obserwacji anteny odbiorczej stacji naziemnej systemu RSBN

Objaśnienie:

- na osi poziomej odległość w kilometrach
- na osi pionowej wysokość metrach
- kolejne linie siatki kąta elewacji w zakresie od 0° do 3° co 10' kątowych

Na podstawie Rys. 4-11 i Rys. 4-12 można wnioskować, że zysk anteny naziemnych stacji systemów ARNS jest zależny od kąta elewacji i dla kąta elewacji mniejszego niż 0,5° jest znacznie mniejszy niż dla większych kątów. Zatem tego rodzaju charakterystyka anteny dyskryminuje sygnały źródeł położonych nisko nad horyzontem, a więc także zakłócające sygnały radiowe z anten nadawczych stacji naziemnych innych systemów. Z tego względu do przeprowadzenia rzetelnej analizy ochrony każdej stacji RSBN eksploatowanej w Rosji i innych państwach tego regionu ze stacjami DVB-T i stacjami bazowymi sieci ruchomych powinny być używane rzeczywiste charakterystyki anten tej stacji. Wykorzystywanie do tego rodzaju obliczeń maksymalnego zysku anteny, podanego w zaleceniu ITU-R M.1830 [14], będzie prowadzić do nadmiernej, nieuzasadnionej ochrony systemów ARNS.

#### 4.4.5 Typowe parametry ARNS w zakresie 645-862 MHz

W Zaleceniu ITU-R M.1830 [14] przedstawiono charakterystyki techniczne systemów ARNS wykorzystywanych w zakresie częstotliwości 645-862 MHz, przygotowane dla potrzeb dwustronnych uzgodnień i estymacji kompatybilności tych systemów z innymi służbami radiokomunikacyjnymi w sprawach, których nie regulują postanowienia RRC-06 [8].

Podstawowe charakterystyki urządzeń ARNS opracowane na podstawie Tablicy 1 w Zaleceniu ITU-R M.1830-R zamieszczono w Tab. 4-3 poniżej. Użyte w powołanym zaleceniu ITU-R określenia "Typ 1" i "Typ 2" odnoszą się do rozwiązań uznanych za typowe dla stanu techniki w okresie przygotowywania dokumentów przed RRC-06 (brak odniesienia do danych identyfikujących producenta i model aparatury).

##### Objaśnienie dodatkowych oznaczeń zastosowanych w Tab. 4-3:

RLS	system radiolokacji, radar pierwotny (RLS 1) lub wtórny (RLS 2)
ND	antena bezkierunkowa (Non-Directional)

##### Oznaczenia klas modulacji:

P0N	sekwencja niemodulowanych impulsów stosowana w radarach pierwotnych, (żaden z parametrów impulsu nie jest wykorzystywany do przenoszenia informacji)
P0X/PXX	dwie sekwencje niemodulowanych impulsów stosowane w RSBN
K0X	sekwencja impulsów z modulacją amplitudy
M1X	sekwencja impulsów z modulacją położenia lub fazy, pojedynczy kanał przenoszący informację skwantyzowaną lub cyfrową

##### Spostrzeżenia i komentarze odnośnie danych w Tab. 4-3.

- 1) Z informacji w Zaleceniu ITU-R M.1830 wynika, że kanały w podzakresie częstotliwości 694-790 MHz, którego dotyczy niniejsze analiza, są wykorzystywane przez samolotowe nadajniki dalmierzy RSBN i mogą być używane przez nadajniki transponderów radarów wtórnych. W obu przypadkach problem zakłócania ARNS przez naziemne systemy radiowe dotyczy odbiornika naziemnej stacji ARNS.
- 2) W Zaleceniu tym i innych źródłach zawierających opisy urządzeń ARNS brak danych określających czułość odbiornika (tj. definiujących minimalną moc sygnału użytecznego na

wejściu odbiornika) oraz współczynnik szumu odbiornika. Dane te są zwykle używane do ustalenia obiektywnej miary dopuszczalnego poziomu zakłóceń na wejściu odbiornika.

- 3) Informacje w dostępnych źródłach rosyjskich [15-25] nt. zakresów częstotliwości faktycznie wykorzystywanych przez systemy RSBN są fragmentaryczne i niespójne.

Z tych względów dla potrzeb niniejszego opracowania przyjęto, że potrzeba ochrony ARNS w zakresie częstotliwości 694-790 MHz przed zakłóceniami innych służb naziemnych wykorzystujących ten zakres częstotliwości powinna dotyczyć przede wszystkim naziemnych odbiorników: radaru wtórnego (RLS 2 typu 2) o częstotliwości 740 MHz i pięciu kanałów odbiornika RSBN w zakresie częstotliwości 770-790 MHz, por. Tab. 4-4 oraz Rys. 4-13.

Tab. 4-3: Charakterystyki systemów radionawigacji lotniczej w zakresie częstotliwości 645-862 MHz wg ITU-R M.1830 (2007)

	<b>RSBN</b> <sup>/UWAGA</sup>	<b>RLS 2 (Typ 1)</b>		<b>RLS 2 (Typ 2)</b>		<b>RLS 1 (Typ 1)</b>	<b>RLS 1 (Typ 2)</b>
Zastosowanie	Zapytanie samolot – Ziemia	Radar wtórny – Typ 1		Radar wtórny – Typ 2		Radar pierwotny – Typ 1	Radar pierwotny – Typ 2
Charakterystyki nadajnika							
Miejsce stacji	Samolot	Lotnisko	Samolot	Lotnisko	Samolot	Lotnisko	Lotnisko
Przeznaczenie	Nadajnik samolotu	Nadajnik radaru na ziemi	Nadajnik transpondera	Nadajnik radaru na ziemi	Nadajnik transpondera	Nadajnik radaru na ziemi	Nadajnik radaru na ziemi
Maksymalna równoważna moc promieniowana (e.r.p.) [dBW]	30,5	48	35	69,5	34,5	82	82
Moc impulsu [dBW]	27	31	32	40	31	52,5	52,5
Moc średnia [dBW]	0,5	1	14	19,5	10,5	19,5	19,5
Okres powtarzania impulsu [ms]	2,3	1,3	0,6	1,8	1,8	1,8	1,8
Szerokość impulsu [μs]	5,1	1,3	8,7	16	16	0,9-2	0,9-2
Niezbędna szerokość pasma emisji [MHz]	3 lub 0,7	4	4	3	8	6	3
Klasa emisji	POX/PXX	K0X	K0X	M1X	M1X	P0N	P0N

Częstotliwości pracy [MHz]	<b>772; 776; 780;</b> <b>784; 788;</b> 792; 796; 800; 804; 808	668	668	835; 836; 837,5	<b>740</b>	833; 835; 836; 858	844; 847; 853; 859
Wysokość anteny [m]	0 do 10 000	10	0 do 10 000	10	0 do 10 000	10	10
Maksymalny zysk anteny [dBi]	3,5	17	3	29,5	3,5	29,5	29,5
Charakterystyka kierunkowa anteny	ND	szerokość –3 dB pł. V: 28° pł. H: 4°	ND	szerokość –3 dB pł. V: 45° pł. H: 3-5°	ND	szerokość –3 dB pł. V: 45° pł. H: 4°	szerokość –3 dB pł. V: 45° pł. H: 4°
Kierunek głównej wiązki anteny	półkula w dół	azymut 0-360°, 6 obrotów/min.	półkula w dół	azymut 0-360°, 10 obrotów/min.	półkula w dół	azymut 0-360°, 6/10 obrotów/min.	azymut 0-360°, 6/10 obrotów/min.



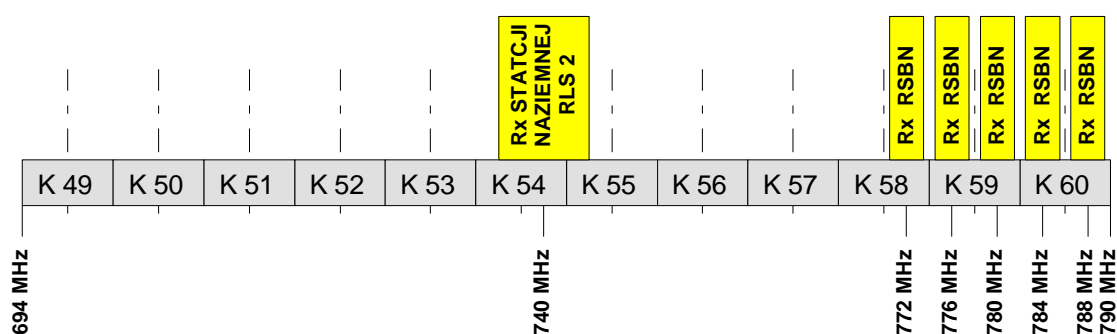
Tab. 4-3: c.d.

Rodzaj systemu	RSBN <sup>/UWAGA</sup>	RLS 2 (Typ 1)		RLS 2 (Typ 2)		RLS 1 (Typ 1)	RLS 1 (Typ 2)
Charakterystyki odbiornika							
Miejsce stacji	Lotnisko	Samolot	Lotnisko	Samolot	Lotnisko	Lotnisko	Lotnisko
Przeznaczenie	Odbiornik na ziemi	Odbiornik transpondera	Odbiornik na ziemi	Odbiornik transpondera	Odbiornik na ziemi	Odbiornik na ziemi	Odbiornik na ziemi
Kod służby wg RRC-06	AA8	BD	BA	BC	AA2	AB	AB
Wysokość anteny [m]	10	0-10 000	10	0-10 000	10	10	10
Polaryzacja anteny	Liniowa, pozioma	Liniowa, pionowa	Liniowa, pionowa	Liniowa, pozioma	Liniowa, pozioma	Liniowa, pozioma	Liniowa, pozioma
Maksymalny zysk anteny [dBi]	22	3	17	3	28,4	29,5	29,5
Charakterystyka kierunkowa anteny	szerokość –3 dB pł. V: 50° pł. H: 4-5°	ND	szerokość –3 dB pł. V: 28° pł. H: 4°	ND	szerokość –3 dB pł. V: 45° pł. H: 3-5°	szerokość –3 dB pł. V: 45° pł. H: 3-5°	szerokość –3 dB pł. V: 45° pł. H: 3-5°
Kierunek głównej wiązki anteny	azymut 0-360°, 100 obrotów/min.	półkula w dół	azymut 0-360°, 6 obrotów/min.	półkula w dół	azymut 0-360°, 6 obrotów/min.	azymut 0-360°, 6/10 obrotów/min.	azymut 0-360°, 6/10 obrotów/min.

<sup>/UWAGA</sup> W systemach RSBN dla drugiego kierunku transmisji jest wykorzystywany inny zakres częstotliwości.

Tab. 4-4: Charakterystyki stacji ARNS działających w zakresie częstotliwości 694-790 MHz

Rodzaj systemu ARNS	Miejsce stacji nadawczej	Rodzaj stacji odbiorczej	Częstotliwość pracy [MHz]	Szerokość pasma RF [MHz]	Wysokość anteny odbiorczej [m]
RLS 2 typu 2	samolot	naziemna	740	8	10
RSBN	samolot	naziemna	772; 776; 780; 784; 788	3 lub 0,7	10



Rys. 4-13: Wykorzystanie pasma 700 MHz przez systemy DVB-T i ARNS

## 4.5 Scenariusze zakłóceń ARNS

### 4.5.1 Przyjęte założenia

Jak podano w p. 4.4.3 aranżacja kanałów w paśmie 700 MHz dla potrzeb systemów LTE/LTE-A prawdopodobnie będzie polegać na zastosowaniu duplexu FDD  $2 \times 40$  MHz z przeznaczeniem górnej części pasma (pasma kanałów TV z nr 56-60) dla emisji stacji bazowych, a dolnej części pasma dla emisji urządzeń użytkowników. W paśmie kanału TV z nr 55 przypadnie prawdopodobnie odstęp duplexowy.

W takiej sytuacji:

- odbiornik stacji naziemnej RLS 2 typu 2 pracujący na częstotliwości 740 MHz byłby narażony na zakłócenia ze strony DVB-T w kanale nr 54 oraz urządzeń użytkowników sieci ruchomej;
- odbiornik stacji naziemnej RSBN pracujący na jednej spośród częstotliwości 772 MHz, 776 MHz, 780 MHz, 784 MHz, 788 MHz byłby narażony na zakłócenia ze strony DVB-T (odpowiednio z kanału nr 58, 59 lub 60) oraz stacji bazowych sieci ruchomej;

- odbiorniki urządzeń użytkowników sieci ruchomej byłyby zakłócone przez emisję DVB-T w pasmach kanałów z nr 56-60;
- odbiorniki stacji bazowych sieci ruchomej byłyby zakłócone przez emisję stacji DVB-T w dolnej części pasma;

Z punktu widzenia potrzeb ochrony systemu ARNS najgorszy przypadek ma miejsce, gdy główna wiązka charakterystyki promieniowania anteny stacji odbiorczej ARNS jest skierowana na antenę stacji zakłócającej. Jednakże ze względu na: kształt charakterystyki promieniowania anten ARNS (por. p. 4.4.4) oraz stosowane pochylenie w dół (tilt) anten stacji bazowych, wykorzystywanie do obliczeń maksymalnej wartości zysku anten prowadzi do zawyżenia wymagań odnośnie wymaganego tłumienia sygnałów stacji pracujących w sieci ruchomej. Dalej do obliczeń wymaganego tłumienia zakłóceń przyjęto następujące parametry stacji.

Odnosnie zakłócanych stacji ARNS zgodnie z Zaleceniem ITU-R M. 1830 (por. Tab. 4-3):

- stacja naziemna RLS 2 typu 2:
  - częstotliwość:  $F = 740$  MHz,
  - wysokość anteny:  $h_{RX} = 10$  m n.p.t.
  - maksymalny zysk anteny:  $G_R = 28,4$  dBi
  - szerokość pasma:  $B = 8$  MHz
  - współczynnik szumu:  $NF = 5$  dB
- stacja naziemna RSBN:
  - częstotliwość:  $F = 780$  MHz
  - wysokość anteny:  $h_{RX} = 10$  m n.p.t.
  - maksymalny zysk anteny:  $G_R = 22$  dBi
  - szerokość pasma RF:  $B = 3$  MHz
  - współczynnik szumu odbiornika:  $NF = 5$  dB

Odnosnie stacji w sieci LTE mogących zakłócać odbiorniki ARNS typowe parametry przyjęto korzystając z wytycznych w dokumencie ETSI TR 136 942 V11.0.0 [13] oraz Aneksie 2 do dokumentu ITU-R 5-6/180-E [28].

- stacja bazowa LTE:
  - rodzaj stacji: makrokomórka
  - częstotliwość środkowa kanału:  $F = 780$  MHz
  - maksymalna moc nadajnika: 43 dBm

- szerokość pasma RF:  $BW_{LTE} = 5$  MHz (najgorszy przypadek),  
stąd maksymalna gęstość mocy nadajnika:  $P_T = 36$  dBm/MHz  
Uwaga. Jeżeli szerokość pasma RF będzie większa,  
to gęstość mocy zakłócenia będzie odpowiednio mniejsza.
- zysk anteny dla kierunku głównej wiązki:  $G_T = 12$  dBi
- wysokość zawieszenia anteny BS:  $h_{BS} = 30$  m
- kąt pochylenia w dół (tilt): do  $3^\circ$
- współczynnik szumu odbiornika:  $NF = 5$  dB
- stacja ruchoma LTE:
  - częstotliwość środkowa kanału:  $F = 740$  MHz
  - maksymalna moc nadajnika:  $P_T = 23$  dBm
  - szerokość pasma RF:  $BW_{LTE} = 5$  MHz (najgorszy przypadek),  
stąd maksymalna gęstość mocy nadajnika:  $P_T = 16$  dBm/MHz
  - zysk anteny dla kierunku głównej wiązki:  $G_T = G_R = -3$  dBi
  - wysokość zawieszenia anteny:  $h_{UE} = 1,5$  m
  - współczynnik szumu odbiornika:  $NF = 9$  dB

Odnośnie stacji DVB-T:

- częstotliwość: 740 MHz lub 780 MHz (pasmo wokół podanej częstotliwości)
- maksymalna gęstość mocy nadajnika: 76 dBm/MHz  
Uwaga. Przyjęto 300 kW e.i.r.p. w paśmie 7,61 MHz.
- wysokość zawieszenia anteny: 300 m

#### 4.5.2 Obliczanie mocy zakłóceń

Teoretycznie (Zalecenie ITU-R M.1461-1 [29]) oddziaływanie zakłócenia o częstotliwości radiowej na odbiornik systemu radionawigacyjnego może polegać:

- albo na przesterowaniu wzmacniacza wstępnego (LNA), co będzie skutkowało kompresją wzmocnienia (efekt nazywany także blokowaniem odbiornika) i/lub pojawieniem się produktów intermodulacji;
- albo na występowaniu zakłóceń (wspólnokanałowych i/lub sąsiedniokanałowych) przenikających do toru wzmacniacza IF odbiornika, powodujących degradację czułości odbiornika.

W obu przypadkach następstwem zakłócenia będzie obniżenie jakości danych uzyskiwanych z systemu radionawigacyjnego.

Do wyznaczenia poziomu każdego zakłócenia ze strony innej stacji, które może pojawić się w paśmie odbiornika ARNS, dla każdego azymutu, należy zastosować ogólną formułę:

$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF}$ , gdzie:

$I$  obliczana moc zakłócenia na wejściu odbiornika radaru [dBm];

$P_T$  moc na złączu antenowym nadajnika stacji zakłócającej [dBm];

$G_T$  zysk anteny stacji zakłócającej (na częst. radaru) w kierunku anteny radaru [dBi];

$G_R$  zysk anteny radaru (na częst. radaru) w kierunku anteny stacji zakłócającej [dBi];

$L_T$  tłumienie toru antenowego stacji zakłócającej (na częst. radaru) [dB];

$L_R$  tłumienie toru antenowego radaru [dB];

$L_P$  tłumienie propagacyjne trasy pomiędzy anteną stacji zakłócającej i anteną radaru [dB].

Model propagacyjny powinien być dobrany do rodzaju trasy (zakłócenia odbiornika stacji naziemnej / zakłócenia odbiornika stacji na pokładzie samolotu).

$FDR_{IF}$  (*frequency-dependent rejection*) zależne od częstotliwości tłumienie widma sygnału zakłócającego wskutek selektywności toru IF odbiornika. Jeżeli analiza dotyczy zakłócenia wspólnokanałowego, to  $FDR_{IF} = 0$  dB.

Obliczanie wartości  $FDR_{IF}$  wymaga dostępności informacji o charakterystykach przenoszenia filtrów zastosowanych w odbiorniku. Jeżeli te dane nie są dostępne zaleca się przyjęcie spadku 80 dB/dekadę od punktów  $-3$  dB.

W podanej formule występują parametry, których wartości należy odnosić indywidualnie do każdej relacji stacja zakłócająca – stacja systemu radionawigacyjnego, biorąc pod uwagę charakterystyki kierunkowe anten.

### 4.5.3 Dopuszczalny poziom zakłócenia

Jeżeli sygnał użyteczny nie jest zakłócany, to wartość progowa mocy sygnału odbieranego, przy której są spełnione wymagania dotyczące właściwości użytkowych systemu radiowego, czyli czułość odbiornika, jest zależna od minimalnego wymaganego w danym systemie stosunku mocy sygnału użytecznego  $C$  do mocy własnego szumu odbiornika  $N$  (stosunku  $C/N$ ).

Jeżeli na wejściu odbiornika występuje zakłócenie o mocy  $I$ , to wartość progowa sygnału użytecznego (czułość odbiornika) jest zależna od stosunku  $C/(N + I)$ . Do uzyskania jakości odbioru,

takiej jak w przypadku braku zakłócenia, konieczne jest odpowiednie zwiększenie mocy sygnału użytecznego. W ogólnym przypadku, jeżeli w paśmie odbiornika moc ciągłego sygnału zakłócającego, takiego jak emisja DVB-T i/lub LTE, spełnia warunek  $I/N < -6$  dB, to następuje degradacja czułości odbiornika nie więcej niż o 1 dB.

Stosunek  $I/N < -6$  dB jest kryterium minimalnym ochrony odbiornika w systemach radiowych przyjętym w Zaleceniu ITU-R M.1461-1 [29] i wielu innych dokumentach normalizacyjnych.

Moc własnego szumu odbiornika  $N$ , wyrażoną w dB, oblicza się jako sumę mocy szumu cieplnego (zależną do szerokości pasma odbiornika  $B$ ) i współczynnika szumu odbiornika  $NF$  zgodnie z formułą:  $N = 10 \log(kT) + 10 \log(B) + NF$  [dBm]

gdzie:  $10 \log(kT) = -114$  dBm/MHz

$B$  szerokość pasma odbiornika [MHz]

$NF$  współczynnik szumu odbiornika [dB]

Stąd odpowiednio przy przyjętych wyżej założeniach w przypadku odbiornika:

- stacji naziemnej RLS 2 typu 2 w odniesieniu do  $B = 1$  MHz ( $NF = 5$  dB):  
 $N = -109$  dBm/MHz  
 (a w paśmie odbiornika  $B = 8$  MHz:  $N = -100$  dBm)
- stacji naziemnej RSBN w odniesieniu do  $B = 1$  MHz ( $NF = 5$  dB):  
 $N = -109$  dBm/MHz  
 (a w paśmie odbiornika  $B = 3$  MHz:  $N = -104$  dBm)
- stacji bazowej LTE w odniesieniu do  $B = 1$  MHz ( $NF = 5$  dB):  $N = -109$  dBm/MHz,  
 (stąd, jeśli  $B = 5$  MHz, to  $N = -102$  dBm, jeśli  $B = 20$  MHz, to  $N = -96$  dBm)
- stacji ruchomej LTE w odniesieniu do  $B = 1$  MHz ( $NF = 9$  dB):  $N = -105$  dBm,

Inne specyficzne wymagania odnośnie ochrony służb pierwszej ważności, w tym ARNS w zakresie częstotliwości 645-862 MHz, przed zakłóceniami ze strony DVB-T są zawarte w Aneksie 4.2 dokumentu RRC-06 [8]. Odpowiednie wymagania z tego dokumentu dotyczące analizowanych przypadków ochrony stacji naziemnych zestawiono w Tab. 4-5. W niniejszym opracowaniu te same kryteria zastosowano do oszacowania ochrony ARNS przed zakłóceniami ze strony systemów ruchomych.

Tab. 4-5: Kryteria ochrony systemów radionawigacji lotniczej zakłócanych przez DVB-T [8]

Rodzaj systemu radionawigacji lotniczej	Chronione natężenie pola	Wysokość anteny odbiornika n.p.t.
---	--------------------------	-----------------------------------



	[dB $\mu$ V/m]	[m]
RSBN, 3 MHz	42,0	10,0
RSBN, 0.7 MHz	42,0	10,0
RLS 2 typu 2	24,0 (28,0) <sup>/*</sup>	10,0

<sup>/\*</sup> Wartości podane w Annex 2, Table 6 Zalecenia ITU-R M. 1830:

24,0 dotyczy pojedynczego zakłócenia;

28,0 zakłóceń zagregowanych.

Uwaga. W dokumentach RRC-06 brak uzasadnienia odnośnie sposobu ustalania kryteriów (poziomów) ochrony ARNS przed zakłóceniami DVB-T.

W celu obliczenia mocy sygnału, której odpowiadają wartości natężenia pola podane w Tab. 4-5 należy zastosować formułę:

$$P_{RX} [\text{dBm}] = E [\text{dB}\mu\text{V/m}] - 77,2 - 20 \log F [\text{MHz}]$$

gdzie:  $F$  – częstotliwość sygnału [MHz],

$P_{RX}$  – moc odbierana za pomocą anteny izotropowej

Wykonując odpowiednie obliczenia dla przypadku:

- RSBN (42,0 dB $\mu$ V/m; 780 MHz; w paśmie o szerokości 3 MHz):

$$P_{RX} [\text{dBm}] = 42,0 - 77,2 - 57,8 = -93 \text{ dBm}$$

stąd gęstość mocy zakłócenia nie powinna przewyższać **-97,8 dBm/MHz**.

Uwzględniając zysk anteny odbiorczej (22 dBi) obliczono gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika:  $-97,8 \text{ dBm/MHz} + 22 \text{ dB} = \mathbf{-75,8 \text{ dBm/MHz}}$ .

- RLS 2 typu 2 (24,0 dB $\mu$ V/m; 740 MHz; w paśmie o szerokości 8 MHz):

$$P_{RX} [\text{dBm}] = 24,0 - 77,2 - 57,4 = -110,6 \text{ dBm}$$

stąd gęstość mocy zakłócenia nie powinna przewyższać **-119,6 dBm/MHz**.

Uwzględniając zysk anteny odbiorczej (28,4 dBi) obliczono gęstość mocy na wejściu odbiornika:  $-119,6 \text{ dBm/MHz} + 28,4 \text{ dB} = \mathbf{-91,2 \text{ dBm/MHz}}$ .

Zatem przyjmując wartości chronionego natężenia pola wg dokumentu RRC-06 i parametry stacji wg Zalecenia ITU-R M. 1830 dla analizowanych przypadków stacji ARNS obliczono:

- RSBN, gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika: **-75,8 dBm/MHz**;

- RLS 2 typu 2, gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika:  $-91,2$  dBm/MHz;  
 oraz gęstość mocy szumu odbiornika :  $-109$  dBm/MHz.

Stąd dopuszczalny wg tych założeń stosunek mocy zakłócenia do mocy szumu  $I/N$  w analizowanych przypadkach wynosi:

$$(I/N)_{\text{RSBN}} = -75,8 + 109 = 33,2 \text{ dBm},$$

$$(I/N)_{\text{RLS2}} = -91,2 + 109 = 17,8 \text{ dBm},$$

czyli jest znacznie większy niż określony przez kryterium  $I/N = -6$  dB.

#### 4.5.4 Wymagana separacja

##### Tłumienie trasy pomiędzy BS i naziemnym odbiornikiem ARNS (kryterium $I/N < -6$ dB)

Jeżeli przyjąć, że dopuszczalna moc zakłócenia sygnału powinna spełniać podane wcześniej kryterium  $I/N < -6$  dB, to odpowiednio w przypadku odbiornika:

- stacji naziemnej RLS 2 typu 2:  $I < -115$  dBm/MHz
- stacji naziemnej RSBN:  $I < -115$  dBm/MHz
- stacji bazowej LTE w odniesieniu do  $B = 1$  MHz ( $NF = 5$  dB):  $I < -115$  dBm/MHz
- stacji ruchomej LTE w odniesieniu do  $B = 1$  MHz ( $NF = 9$  dB):  $I < -111$  dBm/MHz

##### **Zakłócenie ze strony stacji bazowej** (parametry stacji, jak podano w p. 4.5.1)

Maksymalna moc promieniowana izotropowo BS:  $P_T + G_T = 48$  dBm/MHz

$$P_T = 36 \text{ dBm/MHz}$$

$$G_T = 12 \text{ dBi}$$

##### Obliczenia w celu spełnienia kryterium $I/N < -6$ dB

Wymagane tłumienie pomiędzy stacją zakłócającą i zakłócanym odbiornikiem RSBN:

$$(P_T + G_T) + G_R - I = 48 + 22 + 115 = 185,0 \text{ dB}$$

$$G_R = 22 \text{ dBi}$$

$$I < -115 \text{ dBm/MHz}$$

Wymagane tłumienie pomiędzy stacją zakłócającą i zakłócanym odbiornikiem RLS 2 typu 2:

$$(P_T + G_T) + G_R - I = 48 + 28,4 + 115 = 191,4 \text{ dB}$$

$$G_R = 28,4 \text{ dBi}$$

$$I < -115 \text{ dBm/MHz}$$

### Obliczenia w celu spełnienia warunków obliczonych wg RRC-06

Wymagane tłumienie pomiędzy zakłócającą BS i zakłócanym odbiornikiem RSBN:

$$(P_T + G_T) + G_R - I = 48 + 22 + 75,8 = 145,8 \text{ dB}$$

Gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika:  $-75,8 \text{ dBm/MHz}$

Wymagane tłumienie pomiędzy zakłócającą BS i zakłócanym odbiornikiem RLS 2 typu 2:

$$(P_T + G_T) + G_R - I = 48 + 28,4 + 91,2 = 167,6 \text{ dB}$$

Gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika:  $-91,2 \text{ dBm/MHz}$

W Tab. 4-6 porównano uzyskane wyniki dla przypadku spełnienia wymagań odnoszących się do chronionego natężenia pola (kryterium RRC-06 stosowane dla stacji DVB-T) oraz przy spełnieniu warunku  $I/N < -6 \text{ dB}$ .

Tab. 4-6: Wymagane tłumienie trasy pomiędzy BS sieci ruchomej i odbiornikami ARNS

Stacja zakłócana	Ochrona wg RRC-06	Kryterium $I/N < -6 \text{ dB}$
RSBN	145,8 dB ( $E = 42 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ )	185,0 dB
RLS 2 typu 2	167,6 dB ( $E = 24 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ )	191,4 dB

### **Zakłócenie ze strony stacji DVB-T**

Maksymalna moc promieniowana izotropowo:  $(P_T + G_T) = 76 \text{ dBm/MHz}$

Wymagane tłumienie trasy pomiędzy stacjami obliczone wg kryterium  $I/N = -6 \text{ dB}$

W przypadku zakłócającej stacji ruchomej:

$$(P_T + G_T) + G_R - I/N - N = 76 - 3 + 6 + 105 = 184 \text{ dB}$$

$$G_R = -3 \text{ dBi}$$

$$N = -105 \text{ dBm}$$

W przypadku zakłócającej stacji RSBN (przy spełnieniu warunku RRC-06 tj. dla gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika:  $-75,8 \text{ dBm/MHz}$ ):

$$(P_T + G_T) + G_R + 75,8 = 76 + 22 + 75,8 = 173,8 \text{ dB}$$

W przypadku zakłócanej stacji RLS 2 typu 2 (przy spełnieniu warunku RRC-06 tj. dla gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika:  $-91,2$  dBm/MHz:

$$(P_T + G_T) + G_R + 91,2 = 76 + 28,4 + 91,2 = 195,6 \text{ dB}$$

### **Zakłócenie ze strony stacji ruchomej**

Wymagane tłumienie pomiędzy stacją ruchomą i zakłócaną stacją ARNS

W przypadku zakłócanej stacji RSBN (przy spełnieniu warunku RRC-06 tj. dla gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika:  $-75,8$  dBm/MHz):

$$(P_T + G_T) + G_R + 75,8 = 13 + 22 + 75,8 = 110,8 \text{ dB}$$

$$(P_T + G_T) = 13 \text{ dBm}$$

W przypadku zakłócanej stacji RLS 2 typu 2 (przy spełnieniu warunku RRC-06 tj. dla gęstość mocy zakłócenia na wejściu odbiornika:  $-91,2$  dBm/MHz:

$$(P_T + G_T) + G_R + 91,2 = 13 + 28,4 + 91,2 = 132,6 \text{ dB}$$

## **4.6 Kompatybilność służb drugiej ważności**

Należy zwrócić uwagę na to, że sieci LTE/LTE-A mogą być planowane i budowane jako jedno-częstotliwościowe (SFN). Oznacza to, że zakres (zakresy up-link i down-link) częstotliwości przydzielony operatorom sieci ruchomych będzie zajęty na całym obszarze objętym koncesjami – można sądzić, że na całym obszarze kraju. Wskutek tego na obszarze objętym zasięgiem wielu stacji LTE/LTE-A w dziedzinie częstotliwości nie będzie "białych plam" występujących w sieci DVB-T w konsekwencji wykorzystywania przez sąsiadujące stacje różnych kanałów. Spostrzeżenie to jest bardzo ważne z punktu widzenia systemów wykorzystujących częstotliwości z zakresu 694-790MHz na zasadzie służby drugiej ważności (RR, Uwaga 5.296), nazywanych: ENG/OB, PMSE lub SAB/SAP, dla których obecnie są wybierane częstotliwości inne niż wykorzystywane przez lokalne nadajniki telewizyjne. W przypadku wdrożenia LTE/LTE-A źródłem zakłóceń do tych systemów będą nie tylko stacje bazowe, ale także urządzenia użytkowników (terminale) sieci.

## **4.7 Podsumowanie**

W punktach 4.1 do 4.4 niniejszego opracowania podano informacje konieczne do zrozumienia istoty problemów wynikających z przeznaczenia zakresu częstotliwości 694-790 MHz dla służby

rozsiewczej (stacji DVB-T) i służby radionawigacji lotniczej (ARNS) oraz planowanego przeznaczenia tego zakresu także dla potrzeb służby ruchomej (systemu LTE/LTE-A).

Natomiast punkcie 4.5 przedstawiono podstawy teoretyczne niezbędne do analizy zakłóceń wspólnokanałowych, przedstawiono scenariusze zakłóceń dotyczące współużytkowania pasma 700 MHz przez DVB-T, systemy ruchome i odbiorniki systemów ARNS.

Wymagane minimalne tłumienie pomiędzy nadajnikiem stacji zakłócającej, w tym stacji systemu LTE, a odbiornikiem zakłócanej stacji ARNS oszacowano dwiema metodami:

- wykorzystując kryteria ochrony ARNS przed zakłóceniami ze strony DVB-T, ustalone w ramach porozumienia GE-06;
- stosując alternatywną metodę polegającą na określeniu dopuszczalnego poziomu zakłócenia w stosunku do mocy szumu odbiornika ARNS (kryterium  $I/N < -6$  dB wg Zalecenia ITU-R M.1461-1).

## 4.8 Akronimy

W dokumencie wykorzystano następujące akronimy:

16QAM	16-state Quadrature Amplitude Modulation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
64QAM	64-state Quadrature Amplitude Modulation
ARNS	Aeronautical Radio Navigation Service (Aeronautical Radio Navigation System)
BS	Base Station
BW	Band Width
CH PWR	Channel Power
COFDM	Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
DL	Downlink
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
ENG/OB	Electronic News Gathering / Outside Broadcasting
e.i.r.p.	equivalent isotropically radiated power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access, Evolved UTRA, LTE
FDD	Frequency Division Duplex
ICAO	International Civil Aviation Organization
IŁ	Instytut Łączności
ITU	International Telecommunications Union
ITU-R	Radiocommunication Sector of the ITU
LNA	Low Noise Amplifier
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution-Advanced
n.p.t.	nad poziomem terenu
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PEP	Peak Envelop Power
PMSE	Programme-Making and Special Events
pdf	power flux-density
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RB	Resource Block (LTE)
RF	Radio Frequency
RLS	Radiolocation Service, Radiolocation Service (Радиолокационная система посадки, РСП)



RR	Radio Regulations
RRC	Regional Radiocommunication Conference
RSBN	радиотехническая система ближней навигации radiowy system bliskiej nawigacji
Rx	receiver
SAB/SAP	Services Ancillary to Broadcasting / Services Ancillary to Programme making
SFN	Single Frequency Network
TV	Television
Tx	Transmitter
UE	User Equipment
UHF	Ultra-High Frequency
UL	up-link
WNP	Wspólnota Niepodległych Państw
WRC	Światowa Konferencja Radiokomunikacyjna
WRC-07	World Radiocommunication Conference 2007
WRC-12	World Radiocommunication Conference 2012

## 4.9 Literatura

- [1] International Telecommunication Union. Final Acts WRC-12 World Radiocommunication Conference (Geneva, 2012).
- [2] Resolution 232 (WRC-12). Use of the frequency band 694-790 MHz by the mobile, except aeronautical mobile, service in Region 1 and related studies.
- [3] International Telecommunication Union. Radio Regulations. Edition 2012.
- [4] ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.
- [5] Resolution 224 (REV.WRC-12). Frequency bands for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications below 1 GHz.
- [6] Rec. ITU-R M.1036-4. Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications (IMT) in the bands identified for IMT in the Radio Regulations (RR).
- [7] Dobre praktyki w zakresie nadawania DVB-T w Polsce. Wersja 0.6. Grupa ds. techniki i sprzętu Międzyresortowego Zespołu ds. Telewizji i Radiofonii Cyfrowej. Warszawa, maj 2011.
- [8] ITU-R, 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.
- [9] Rec. ITU-R P.1546-4. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz.
- [10] ETSI TS 136 211. V11.6.0 (2014-10). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (3GPP TS 36.211 ver. 11.6.0 Release 11).
- [11] ETSI TS 136 104 V11.10.0 (2014-10). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 ver. V11.10.0 Release 11).
- [12] ETSI TS 136 101 V11.10.0 (2014-11). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 ver. 11.10.0 Release 11).
- [13] ETSI TR 136 942 V11.0.0 (2012-10). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios (3GPP TR 36.942 version 9.2.0 Release 9)
- [14] Rec. ITU-R M.1830. Technical characteristics and protection criteria of aeronautical radionavigation service systems in the 645-862 MHz frequency band.
- [15] Радионавигационный план Российской Федерации; Основные направления развития радионавигационных систем и средств (редакция 2008 года). Утвержден приказом Минпромторга России от 02 сентября 2008 г. № 118.
- [16] Об утверждении таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений правительства Российской Федерации. Правительство Российской Федерации. Постановление от 21 декабря 2011 г. N 1049-34.
- [17] Конверсия радиочастотного спектра – один из основных путей решения проблемы внедрения стартового мультиплекса НЦТВ в Российской Федерации. Федеральное Государственное Унитарное Предприятие НИИРадио.

- [18] А.В. Старых. Бортовые радиоэлектронные системы воздушных судов. Московский Государственный Технический Университет Гражданской Авиации. Москва 2008.
- [19] Министерство образования и науки Российской Федерации. Сибирский федеральный Университет. Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования аэропортов. Учебно-методическое пособие по лабораторным занятиям и самостоятельной работе студентов. Красноярск. СФУ. 2012.
- [20] Бортовое оборудование навигации и посадки (РСБН-85, РСБН-85В, MLS-85, СД-75М, А-380 МС, А-380 МКЭ).
- [21] А. М. Алсщечкин, В. Н. Бондаренко, В. И. Кокорин. Радионавигационные системы, Часть 1. Основы теории и принципы построения радионавигационных систем. Министерство Образования Российской Федерации, Красноярск 2003.
- [22] RSP-10 Radar modernization. ELDIS Pardubice, s.r.o.
- [23] ГОСТ Р 50907-96. Радиосистемы ближней навигации. Термины и определения.
- [24] Самолет АН-140; Руководство по технической эксплуатации. (Раздел 110 Радиоаппаратура самолетовождения; Раздел 113 Радиоаппаратура опознавания и активного ответа.
- [25] ГОСТ Р 50860-96. Самолеты и вертолеты. Устройства антенно-фидерные связи, навигации, посадки и УВД. Общие технические требования, параметры, методы измерений.
- [26] Radar tutorial; Book 1 "Radar Basics"; Book 2 "Radar Sets"; Book 3: "Antennae Techniques".
- [27] <http://www.radary.az.pl/anteny.php>
- [28] Annex 2 to Document 5-6/180-E. 26 May 2010. Annex 2 to Joint Task Group 5-6 Chairman's Report. "List of IMT systems characteristics for use in sharing studies in the band 790-862 MHz".
- [29] Rec. ITU-R M.1461-1. Procedures for determining the potential for interference between radars operating in the radiodetermination service and systems in other services.
- [30] Rec. ITU-R P.525-2. Calculation of free-space attenuation.
- [31] Report ITU-R M.2241 (11/2011). Compatibility studies in relation to Resolution 224 in the bands 698-806 MHz and 790-862 MHz.

## 5 Aranżacja częstotliwości w paśmie II dywidendy dla potrzeb systemów bezpieczeństwa publicznego

Kwestia aranżacji częstotliwości w paśmie 700 MHz (pasmo drugiej dywidendy cyfrowej) nie jest jeszcze do końca określona, ze względu na to, że dopiero podczas najbliższej Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej w 2015 roku zapadną ostateczne ustalenia odnośnie dolnej granicy zakresu częstotliwości. Natomiast ze względu na wagę problemu ustanowienia odpowiedniego zakresu częstotliwości dla niezmiernie istotnych systemów radiokomunikacyjnych o dużej przepływności danych związanych z bezpieczeństwem publicznym i reagowaniem w sytuacjach kryzysowych, w Europie zaczęto zastanawiać się nad możliwością umieszczenia ich właśnie w pozyskanym dla radiokomunikacji ruchomej zakresie częstotliwości 694 – 790 MHz – zwanym pasmem drugiej dywidendy.

Po to, aby dokonać implementacji systemów PPDR w omawianym zakresie, wcześniej należało oszacować ich potrzeby widmowe. Do tego celu użyto metodyki szacowania potrzeb widmowych właściwej dla systemów IMT, gdyż szerokopasmowe systemy bezpieczeństwa publicznego będą miały cechy do nich zbliżone.

### 5.1 Możliwości implementacji systemów PPDR w paśmie II dywidendy

Systemy ochrony bezpieczeństwa publicznego i akcji pomocy w przypadku klęsk żywiołowych, PPDR, (ang. Public Protection and Disaster Relief) stanowią ważną część dyspozytorskich systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej<sup>1</sup>. W dokumentach ITU-R [5.1, 5.2] zostały zdefiniowane pojęcia radiokomunikacji przeznaczonej do tych celów. Według ITU pojęcie „*radiokomunikacja w celu ochrony bezpieczeństwa publicznego*” (PP – Public Protection) odnosi się do radiokomunikacji wykorzystywanej przez agencje i organizacje odpowiedzialne za utrzymywanie porządku i ładu publicznego, ochronę życia i mienia oraz działania w sytuacjach nadzwyczajnych. Natomiast pojęcie „*radiokomunikacja w celu akcji pomocy w przypadku klęsk żywiołowych*” (DR – Disaster Relief) odnosi się do radiokomunikacji wykorzystywanej przez agencje i organizacje odpowiedzialne za podejmowanie działań w przypadkach poważnego zakłócenia funkcjonowania społeczeństwa, w sytuacjach znaczącego zagrożenia dla życia i zdrowia

---

<sup>1</sup> W nomenklaturze ETSI systemy te określane są nazwą „systemy bezpieczeństwa publicznego”, PSS (ang. Public Safety Systems)

dużej grupy ludzi, mienia lub środowiska na znacznym obszarze, niezależnie od tego, czy powstały w wyniku wypadku, zjawisk naturalnych lub działań człowieka, oraz niezależnie od tego, czy powstały nagle lub w wyniku skomplikowanych długotrwałych procesów. Systemy PPDR wykorzystują więc radiokomunikację użytą do wszystkich celów sformułowanych wyżej.

Techniki użyte w systemach PPDR można podzielić na trzy kategorie: wąskopasmowe, szerokopasmowe i rozległopasmowe. Zdefiniowane zostały szczegółowo w Załączniku E do Sprawozdania CEPT ECC 102 [5.3]. Generalna różnica między nimi polega na stosowaniu wąskiego (kilka – kilkadziesiąt kHz) pasma i małych przepływności sygnału w technikach wąskopasmowych, szerokiego (kilkaset kHz – pojedyncze MHz) pasma i przepływności rzędu kilkuset kb/s w technikach szerokopasmowych oraz bardzo szerokiego pasma (kilka – kilkadziesiąt MHz, zależnego od użytych technik o różnej wydajności widmowej) i dużej przepływności (powyżej 1 Mb/s) w technikach rozległopasmowych<sup>2</sup>. Systemy wąskopasmowe użytkowane bywają w niższych pasmach częstotliwości (HF, VHF oraz dolne partie pasma UHF) natomiast szerokopasmowe i rozległopasmowe – w pasmach UHF i wyżej.

W wymaganiach na widmo dla systemów PPDR określonych w przez CEPT w roku 2007 we wspomnianym powyżej Sprawozdaniu ECC 102 [5.3] nie przewidywano wykorzystania do tego celu zakresu II. dywidendy cyfrowej, ani dla systemów szerokopasmowych ani dla rozległopasmowych (proponacje dotyczyły zakresu 380 – 470 MHz dla systemów wąskopasmowych i szerokopasmowych oraz zakresów 4940-4990 MHz, 5150-5250 MHz, 5470-5725 MHz, 5725-5875 MHz i 5875-5925 MHz dla systemów rozległopasmowych) – gdyż II dywidenda nie była wtedy określona. Teraz, po ustaleniach dokonanych przez Światową Konferencję Radiokomunikacyjną WRC-2012, dotyczących przeznaczenia zakresu 694 – 790 MHz również dla potrzeb radiokomunikacji ruchomej można i należy zastanowić się nad implementacją systemów PPDR w tym zakresie. W pierwszej kolejności należy rozpatryć potrzeby widmowe systemów PPDR. Jak wynika z najnowszych ustaleń dokonanych przez CEPT [4], które zostaną przedłożone Komisji Europejskiej, zakres 694 – 790 MHz będzie w Europie przeznaczony dla systemów rozległopasmowych. Stąd w analizach dotyczących implementacji systemów PPDR w tym zakresie uwzględniać należy jedynie systemy rozległopasmowe BB PPDR (ang. BroadBand PPDR).

---

<sup>2</sup> Niestety w Polsce najczęściej nie rozróżnia się pojęć: szerokopasmowy (ang. wideband) i rozległopasmowy (ang. broadband) określając je wspólnym mianem – szerokopasmowe. Tymczasem w dokumentach ITU-R, np. [2], można znaleźć stwierdzenie, że „technika rozległopasmowa wydaje się być naturalnym ewolucyjnym trendem w stosunku do (techniki) szerokopasmowej”

Estymacja zasobów widmowych niezbędnych do użytku przez systemy BB PPDR może się odbywać według zasad określonych dla systemów IMT, ponieważ szerokości pasma i przepływności sygnałów będą podobne. Sprawą tą na forum światowym zajęła Grupa Robocza ITU-R WP5A a na forum europejskim CEPT ECC poprzez Zespół Projektowy PT 39 Grupy Roboczej WG FM oraz ETSI ERM. Kwestia obsadzenia widma przez systemy BB PPDR jest niezwykle istotna, ponieważ problem ten poruszany będzie podczas nadchodzącej Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej WRC-15 w ramach punktu 1.3 Agendy.

Metodyka oszacowania zasobów widmowych niezbędnych dla systemów BB PPDR w paśmie 700 MHz (ew. można ją zastosować również w paśmie 800 MHz) przedstawiona została w kilku dokumentach np. w [4, 5] przy założeniu, że z uwagi na szerokość pasma zajmowanego przez te systemy obliczenia będą prowadzone tak, jak dla systemów IMT teraz [5.6, 5.7, 5.8] lub w przyszłości [5.9, 5.10], tym bardziej, że planowane jest wykorzystanie systemów IMT dla potrzeb aplikacji rozległopasmowych PPDR [11]. Dopiero po dokonaniu estymacji niezbędnych zasobów widmowych można ocenić możliwości implementacji systemów BB PPDR w paśmie 700 MHz. Równocześnie jednak należy dokonać sprawdzenia, czy systemy BB PPDR można umieścić w tym paśmie bez wprowadzenia nadmiernych zakłóceń w stosunku do innych systemów współużytkujących to pasmo, oraz systemów pracujących w sąsiednich zakresach częstotliwości. W przypadku, gdyby do zadań stawianych przed systemami BB PPDR należało użyć systemów IMT (np. LTE), wówczas należy skorzystać z obliczeń kompatybilnościowych prowadzonych przy wykorzystaniu parametrów przedstawionych w publikacjach ITU-R, bądź ETSI, jak np. w Sprawozdaniach ITU-R M.2039 [12], ITU-R M.2292 [13] czy ETSI TS 136 101 [14] lub ETSI TS 136 104 [15].

W Sprawozdaniach ITU-R [5.2] oraz CEPT ECC [5.4] założono, że pod względem funkcjonalnym systemy BB PPDR kandydujące do pasma 700 MHz można podzielić na dwie główne części, w skład których wchodzi:

- sieci szerokoobszarowe (WAN) BB PPDR, oraz
- BB PPDR o czasowo zwiększanej pojemności systemu (sieci ad-hoc).

Wyróżniane są przy tym trzy środowiska operacyjne – scenariusze działania:

- codziennej (zwykłej) działalności (oznaczone jako kategoria PP1),
- wydarzenia o charakterze nadzwyczajnym oraz/lub wielkie imprezy publiczne (oznaczone jako kategoria PP2),
- klęski żywiołowe i katastrofy (oznaczone jako kategoria DR).



Czasami jako niezależne środowiska rozległopasmowych systemów PPDR wyróżnia się środowisko łączności z lotnictwem AGA (ang. Air-Ground-Air) oraz środowisko bezpośredniego trybu operacji DMO (ang. Direct Mode Operations). Działalność w tych środowiskach również należy wliczyć do czynników wpływających na zapotrzebowanie na widmo.

Działalność w każdym z powyższych środowisk skutkuje innym natężeniem ruchu radiowego, a więc i innym zapotrzebowaniem na widmo. Estymacja zasobów widmowych, przy uwzględnieniu specyfiki każdego ze scenariuszy działania, odbywa się w zasadzie w czterech krokach:

- w aspekcie geograficznym (rodzaj środowiska, powierzchnia komórek, ich geometria, rozmiar obszaru działania – kryterium pokrycia itp.),
- w aspekcie rynkowym z uwzględnieniem ruchu radiowego (rodzaje usług – głos, dane, wideo –, gęstość zaludnienia, zakładany współczynnik penetracji, liczba użytkowników w komórce, parametry ruchu radiowego – prognozowana liczba połączeń w godzinach szczytu, średni czas połączenia, aktywność użytkowników – dla każdego rodzaju usługi osobno i razem, liczba kanałów przypadająca na komórkę, parametry jakości obsługi QoS takie jak prawdopodobieństwo blokady w sieci, średnie opóźnienie pakietu danych, a także parametry ruchu pozyskane z podmiotów PPDR – policji, straży pożarnej, straży miejskich, pogotowia ratunkowego, służb celnych, straży granicznej itp. ),
- w aspektach technicznych (liczba kanałów dla każdej aplikacji wyliczona na podstawie ruchu w każdej komórce, wymaganej przepływności danych i jakości obsługi QoS, planowana efektywność widmowa w łączach „w górę” i „w dół” i wypadkowy ruch radiowy w systemie),
- w ostatecznym oszacowaniu rozmiarów potrzebnego widma (wypadkowy ruch w połączeniu z planowaną efektywnością widmową pozwalają na uzyskanie wymagań widmowych, przy czym dla każdej aplikacji należy uwzględnić odpowiedni współczynnik wagowy i ew. współczynnik korekcyjny).

Szczegółowy sposób planowania rozmiaru zasobów widmowych niezbędnych dla zapewnienia prawidłowej i wydajnej pracy systemów rozległopasmowych przedstawiony został w publikacji [8] przytoczonej w kolejnym punkcie niniejszego opracowania.

Wyniki szczegółowych obliczeń zasobów widmowych niezbędnych dla systemów BB PPDR wykonane przy pomocy metodyki, o której była mowa powyżej, przedstawiono w Sprawozdaniu CEPT ECC 199 [5.4]. Wyniki te zebrane są w tab. 5.1 dla różnych scenariuszy ruchu radiowego, różnych środowisk operacyjnych oraz osobno dla łącz „w górę” i „w dół”.

Tab. 5.1 Wyniki obliczeń rozmiarów widma niezbędnego dla systemów BB PPDR w paśmie drugiej dywidendy cyfrowej

Środowisko operacyjne	Scenariusz działania	Założenia ruchu radiowego	Rozmiar widma [MHz]	
			Przypadek najłagodniejszy	Przypadek najgorszy
PP1	łącze „w górę”	1 incydent „na skraju komórki” 2 incydenty w pobliżu centrum komórki łączność w tle	7,1	10,7*
	łącze „w dół”	1 incydent „na skraju komórki” 2 incydenty w pobliżu centrum komórki łączność w tle	6,8	9,0*
PP2	Impreza planowana uprzednio	Scenariusz PP2 plus łączność w tle	10,3	14,3
	Impreza nieplanowana		5,8	7,8
DR			jak w przypadku PP2	

Uwaga: \* - wartości średnie

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń określono, że dla zaspokojenia potrzeb systemów BB PPDR w Europie niezbędne jest ok. 2x10 MHz widma w paśmie drugiej dywidendy cyfrowej. Ponieważ w paśmie tym, oprócz zharmonizowanych 2x30 MHz dla potrzeb systemów obejmujących sieci ruchome bądź stałe, MFCN (ang. Mobile Fixed Communications Networks), czyli najprawdopodobniej systemów LTE, pozostaje do zagospodarowania co najmniej 25 MHz widma (patrz rys. 5.2), więc w najnowszym Sprawozdaniu CEPT 53 [5.15] dla Komisji Europejskiej<sup>3</sup> przedstawiono trzy koncepcje zagospodarowania „wolnej” części pasma 700 MHz dla potrzeb systemów BB PPDR. Koncepcje te zilustrowane są na rys. 2.1.

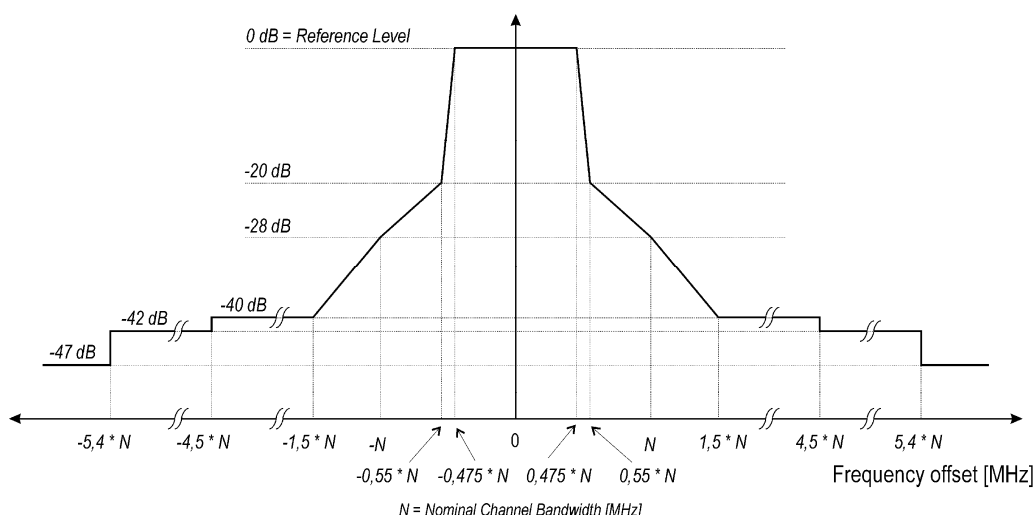
<sup>3</sup> Sprawozdanie to powstało na zlecenie Komisji Europejskiej [5.16]

Konceptcje zagospodarowania części pasma 700 MHz dla potrzeb BB PPDR												
Zakresy częstotliwości (MHz)	694-703		703-733	733-738		738-743	743-748	748-753	753-758	758-788	788-791	
	694-698	698-703		733-736	736-738							
PPDR(2x5MHz) FDD		PPDR UL	MFCN łącze "w górę" (patrz rys. 2.3)						PPDR DL	MFCN łącze "w dół" (patrz rys.2.3)		
PPDR(2x3MHz) FDD				PPDR UL								PPDR DL
PPDR(2 (2 X 5 MHz) / 2x10 MHz) FDD					PPDR UL				PPDR DL			
Rozmiar bloku (MHz)	4 MHz	5 MHz			3 MHz	2MHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz		5 MHz	

Rys. 5.1 Rozważane warianty zagospodarowania części pasma 700 MHz dla potrzeb BB PPDR

W myśl koncepcji 1. dla potrzeb BB PPDR przewidziane jest tylko 2x5 MHz w zakresach 698-703/753-756 MHz (częściowo w dolnym paśmie ochronnym); koncepcja 2. zakłada przeznaczenie jedynie 2x3 MHz w zakresach 733-736/788-791 MHz (a więc częściowo w paśmie pierwszej dywidendy oraz w górnym paśmie ochronnym); natomiast według koncepcji 3. wykorzystane ma być pełne 2x10 MHz (lub 2x2x5 MHz) w zakresach 733-743/748-758 MHz (czyli w paśmie przeznaczonym dla opcjonalnego łącza „w dół” systemów MFCN/LTE). Z punktu widzenia ochrony bezpieczeństwa publicznego i akcji w przypadku klęsk żywiołowych oczywiście najlepsza jest opcja trzecia, ale decyzję o wyborze którejś z tych opcji poszczególne kraje Unii Europejskiej podejmą indywidualnie – inaczej niż dla zharmonizowanych zakresów dla MFCN/LTE 703-733/758-788 MHz (patrz niżej, rys. 5.3), gdzie będą zobligowane przyjąć ustalenia europejskie.

Ponieważ ustalono, że systemy PPDR mogą być instalowane w paśmie 700 MHz jedynie w ramach przepisów wewnątrz krajowych, więc w CEPT nie przewidziano dla nich odrębnych wymagań kompatybilnościowych, zadowolając się stwierdzeniem, że pomiędzy krajami stosującymi BB PPDR należy prowadzić bi- lub multilateralne kompatybilnościowe uzgodnienia transgraniczne. W ramach tych uzgodnień ewentualnie można stosować maski promieniowania urządzeń systemów MFCN określonych dla zakresów 703-733/758-788 MHz zamieszczonych w Załączniku 2 Sprawozdania [5.15]. Natomiast ETSI w swoim dokumencie [5.14] zaproponował wykorzystanie do celów badań kompatybilności systemów BB PPDR maskę promieniowania, jak na rys. 5.2.



Rys.5.2 Maska promieniowania urządzeń systemów BB PPDR według ETSI [5.14]

Poziom odniesienia dla powyższej maski promieniowania (EIRP w bloku 5 MHz) wynosi dla stacji bazowych 64 dBm/5 MHz a dla terminali użytkownika 23 dBm [5.15].

W przypadku wyboru którejkolwiek z opcji zagospodarowania „wolnej” części pasma 700 MHz (rys. 5.1) zarówno do celów prowadzenia koordynacji transgranicznych pomiędzy systemami BB PPDR a innymi systemami oraz do wszelkich badań kompatybilności pomiędzy nimi będzie można wykorzystywać maskę przedstawioną na rys. 5..2

## 5.2 Estymacja zasobów widmowych w paśmie II dywidendy niezbędnych dla systemów RRL

Proces estymacji zasobów widmowych niezbędnych do zapewnienia prawidłowej i wydajnej pracy rozległopasmowych systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej przedstawiony został w referacie wygłoszonym podczas obrad Krajowej Konferencji Radiokomunikacji i Radiofonii i Telewizji w 2014 roku. Streszczenie tego referatu zamieszczone jest poniżej w Załączniku, natomiast pełny tekst opublikowany został w Przeglądzie Telekomunikacyjnym [5.8].

Podana metoda postępowania została zastosowana przy szacowaniu zasobów widmowych dla systemów LTE w paśmie drugiej dywidendy. W Europie wstępnie ustalono, że systemy te zajmować będą 2x30 MHz dla sparowanych łączy „w górę” i „w dół” oraz opcjonalnie 20 MHz dodatkowej przestrzeni widmowej dla łączy „w dół”, przy czym decyzja o przeznaczeniu tych dodatkowych 20 MHz dla łączy „w dół” będzie podejmowana indywidualnie przez każdy z krajów członkowskich CEPT (można tam będzie również wprowadzić systemy BB PPDR, o których była

mowa w poprzednim punkcie). Taką aranżację widma przewiduje projekt decyzji CEPT ECC, która aktualnie przygotowywana jest przez Zespół Projektowy PT39 Grupy Roboczej Gospodarki Widmem ECC. Aranżacja ta przedstawiona jest na rys. 5.2. Interesujące jest, że po analizie kompatybilności pomiędzy systemami cyfrowej radiodifuzji telewizyjnej (zajmującymi zakres częstotliwości poniżej 694 MHz) a systemami komórkowymi LTE wymagany jest dość duży odstęp ochronny między nimi (pasmo o szerokości 9 MHz) powyżej częstotliwości 694 MHz.

694-703	703-708	708-713	713-718	718-723	723-728	728-733	733-738	738-743	743-748	748-753	753-758	758-763	763-768	768-773	773-778	778-783	783-788	788-791
Pasmo ochronne	Łącze „w górę”						Luka	Opcjonalne dodatkowe łącze „w dół”				Łącze „w dół”						Pasmo ochronne
9 MHz	30 MHz (6 bloków po 5 MHz)						5 MHz	20 MHz (od zera do 4 bloków po 5 MHz)				30 MHz (6 bloków of 5 MHz)						3 MHz

Rys. 5.3 Aranżacja widma dla systemów LTE w paśmie II dywidendy cyfrowej według CEPT.

Projekt decyzji, o której mowa powyżej, przedstawiony zostanie przez ECC w końcu br. do publicznych konsultacji i po analizie ewentualnych uwag decyzja ta zostanie ogłoszona i wprowadzona do użytku na najbliższym spotkaniu plenarnym ECC w marcu 2015 r. Z dużym prawdopodobieństwem należy przypuszczać, że decyzja ta zostanie zaadaptowana przez Komisję Europejską w postaci jej decyzji i powyższa aranżacja widma w paśmie II dywidendy (zakresie 694 – 790 MHz)<sup>4</sup> będzie musiała być stosowana w państwach Unii Europejskiej.

### 5.3 Literatura

[5.1] ITU-R; Resolution 646 (Rev. WRC-12), *Public protection and disaster relief*, Radio Regulations Vol. 3, Geneva 2012, pp. 327 – 332,

[5.2] ITU-R; *Radiocommunication objectives and requirements for public protection and disaster relief*, Report ITU-R M.2033, 2003,

[5.3] CEPT ECC; *Public protection and disaster relief spectrum requirements*, ECC Report 102, Helsinki, January 2007,

<sup>4</sup> Pomimo tego, że dolna granica pasma II dywidendy, wstępnie przyjmowana jako 694 MHz, zostanie ostatecznie ustalona podczas najbliższej Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej WRC-15, jest bardzo prawdopodobne, że utrzymana będzie jej dotychczasowa wartość

- [5.4] CEPT ECC; *User requirements and spectrum needs for future European broadband PPDR systems (Wide Area Networks)*, ECC Report 199, May 2013,
- [5.5] ETSI ERM; System Reference document (SRdoc); Land Mobile Service; *Additional spectrum requirements for future Public Safety and Security (PSS) wireless communication systems in the UHF frequency range*, ETSI TR 102 628 V1.2.1 (2014-09),
- [5.6] ITU-R; *Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements*, Recommendation ITU-R M.1390, 1999,
- [5.7] ITU-R; *Methodology for calculation of spectrum requirements for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications*, Recommendation ITU-R M.1768-1, 2013,
- [5.8] Grzybkowski M.J.; *Estymacja zasobów widmowych dla potrzeb systemów IMT*, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6/2014, vol. LXXXVI, s. 440 – 443,
- [5.9] ITU-R; *Methodology for calculation of spectrum requirements for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications*, Recommendation ITU-R M.1768-1, 2013,
- [5.10] ITU-R; *Future radio aspect parameters for use with the terrestrial IMT spectrum estimate methodology of Recommendation ITU-R M.1768-1*, Recommendation ITU-R M.2289, 2013
- [5.11] ITU-R; *The use of International Mobile Telecommunications for broadband public protection and disaster relief applications*, Report ITU-R M.2291, 2013,
- [5.12] ITU-R; *Characteristics of terrestrial IMT-2000 systems for frequency sharing/interference analyses*, Report ITU-R M.2039, 2010,
- [5.13] ITU-R; *Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses*, , Report ITU-R M.2292, 2013,
- [5.14] ETSI ERM; *Technical characteristics for Broadband Disaster Relief applications (BB-DR) for emergency services in disaster situations*; System Reference Document, ETSI TR 102 485,
- [5.15] CEPT, “*To develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives*”, Report A from CEPT to the European Commission in response to the Mandate, CEPT Report 53, 28 November 2014,
- [5.16] European Commission, *Mandate to CEPT to develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband electronic communications services and other uses in support of EU spectrum policy priorities*, Brussels, DG Connect /B4, 11/03/2013.



## 6 Ocena warunków pracy przyszłych sieci Wi-Fi w pasmach ISM

Obecne analizy ruchu telekomunikacyjnego w systemach radiokomunikacji ruchomej [6.1] wskazują na znaczne jego zwiększenie w najbliższych latach związane z rozwojem aplikacji mobilnych i powszechnym wykorzystywaniem smartfonów, tabletów i innych urządzeń przenośnych. Znacząca część ruchu w tych systemach przypada na sieci Wi-Fi pracujące w nielicencjonowanych pasmach częstotliwości (2,4 i 5 GHz). Występujące ograniczenia regulacyjne (max. moc 100 mW) i praktyka użytkowania sieci Wi-Fi (brak koordynacji kanałów i charakterystyki dookólne anten) prowadzą do sytuacji w której występuje często zjawisko interferencji pomiędzy sieciami Wi-Fi pracującymi w tym samym i sąsiednich kanałach częstotliwości powodujące znaczącą degradację jakości połączeń i obniżając wypadkową dostępną przepływność tych sieci. Celem pracy był wkład do artykułu koncepcyjnego zaprezentowanego na konferencji IEEE DySPAN2014 [6.2] w USA wskazującego na możliwość efektywniejszego wykorzystania widma radiowego i poprawy jakości transmisji dzięki zastosowaniu technik radia kognitywnego (tj. sensing widma) z optymalizacją mocy przy użyciu algorytmu teorii gier i kierunkowych anten nadawczo-odbiorczych. W artykule wykazano, że dzięki zaproponowanemu rozwiązaniu możliwa jest znacząca poprawa wypadkowej przepływności danych a tym samym znaczna poprawa efektywności wykorzystania widma intensywnie dziś wykorzystywanych pasm ISM 2.4 i 5 GHz.

Nielicencjonowany dostęp do widma bazuje na prostych zasadach – ograniczana jest maksymalna moc promieniowania oraz dozwolone są niepożądane zakłócenia od innych urządzeń. Zasady te były opracowane dla pierwotnych potrzeb, które nie zakładały stosowania obecnie dostępnych urządzeń radiowych charakteryzujących się zaawansowanymi możliwościami technicznymi. Zaproponowana koncepcja „ISM-Advanced” wykorzystuje techniki radia kognitywnego, umożliwiające poprawę wydajności wykorzystania widma w pasmach ISM (ang. Industrial, Scientific, Medical) wraz z poprawą QoS świadczonych usług. Tym samym zakłada się możliwość zmniejszenia ograniczeń związanych z regulacją maksymalnej dopuszczalnej mocy promieniowanej. Takie rozwiązania mogą ułatwiać wykorzystanie pasma nielicencjonowanego przez operatorów sieci komórkowych -dodatkowo stosowana może być agregacja pasma ISM z pasmem licencjonowanym. W świetle zwiększonego zapotrzebowania na pasmo nielicencjonowane sugeruje się aby regulacje i przepisy prawa związane z dynamicznym dostępem do widma były zrewidowane pod kątem dostosowania ich do możliwości dzisiejszych urządzeń wykorzystujących techniki radia kognitywnego.

## 6.1 Literatura

- [6.1] ITU-R Report M.2290-0 Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT, ITU, 2014
- [6.2] Medeisis A., Sydor J., Cremene L.C., Holland O.D., Anskaitis A., Więcek D., Haddad Y., Cuzanauskas T. ISM-advanced: improved access rules for unlicensed spectrum, (International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN), McLean, Virginia, USA, 1 - 4 April 2014), , IEEE, 2014, 194-205 pp.

## 7 Urządzenia pracujące w tzw. białych przestrzeniach - zagadnienia EMC

W niniejszym rozdziale przedstawiono wybrane zagadnienia z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń systemów telekomunikacyjnych przeznaczonych do pracy w białych przestrzeniach. Zwrócono uwagę na potencjalne sygnały niepożądane mogące zakłócać prawidłowy odbiór sygnałów innych systemów, np. odbiór telewizji cyfrowej DVB-T. Wskazano znaczenie spełnienia wymagań norm, w tym nowej edycji normy ETSI EN 301 598 v1.1.1. Wskazano przykładowe problemy, na które powinni zwracać uwagę producenci WSD (ang. *White Space Devices*).

Efekty tych prac zostały zaprezentowane na konferencji KSTiT 2014 w Poznaniu i opublikowane w Przeglądzie Telekomunikacyjnym.

Przedmiotem tej części pracy statutowej były zagadnienia związane z kompatybilnością elektromagnetyczną urządzeń (WSD lub TVWSD) pracujących w tzw. białych przestrzeniach (WS) zakresu częstotliwości cyfrowej telewizji naziemnej. Od kilku lat na świecie trwają prace badawcze i rozwijane są technologie związane z urządzeniami przeznaczonymi do pracy w zakresie pasma telewizyjnego. Prace te są również prowadzone przez polskie zespoły badawcze. Dotychczasowe prototypy czy też urządzenia testowe konstruowane były przy założeniu spełnienia wymagań (o ile w ogóle) dotychczas stosowanych norm dla sprzętu radiowego, niekoniecznie dedykowanych dla WSD. W kwietniu 2014 roku opublikowana została norma ETSI EN 301 598 v1.1.1 [3], która określa poziomy wymagane dla urządzeń WSD. Intencją autorów niniejszej pracy jest wskazanie na istotne zagadnienia z zakresu EMC dla urządzeń WSD, zarówno w oparciu o tą normę jak i wcześniejsze doświadczenia w zakresie badań kompatybilności urządzeń pracujących w pasmach telewizyjnych.

W oparciu o wcześniej prowadzone badania oraz przy wykorzystaniu systemu testowego bazującego na urządzeniach USRP firmy National Instruments w dalszej części artykułu zaprezentowano istotne zagrożenia mogące wynikać z powstających sygnałów zakłócających.

Możliwość współdziałania urządzeń, w szczególności urządzeń bezprzewodowych, zależy w znacznej mierze od spełniania przez nie wymagań kompatybilności. Każde urządzenie radiowe musi spełniać określone wymagania i podlega ocenie z uwagi na wymagania odpowiednich Dyrektyw, w tym szczególne znaczenie mają Dyrektywy RTT&E [1] oraz EMC [2]. Jest to o tyle istotne, że efekty jakie powstają w nieliniowych elementach toru transmisyjnego mogą wpływać nie tylko na jakość prowadzonej transmisji, ale również w ogóle na możliwość jej prowadzenia.

Zdolność urządzeń do komunikowania się jest uzależniona od tego czy w medium, za pośrednictwem którego przynosi się informacje, występują zakłócenia czy też nie. Ponadto należy tu zwrócić szczególną uwagę na możliwość pojawienia efektów niepożądanych, np. intermodulacyjnych, powstających w samych urządzeniach pracujących w WS oraz w urządzeniach pracujących w paśmie telewizyjnym np. antenach aktywnych lub wzmacniaczach antenowych. Należy pamiętać, że powstające sygnały niepożądane stanowią potencjalne sygnały zakłócające dla urządzeń innych systemów pracujących w tym samym i sąsiednich zakresach częstotliwości.

W dalszej części raportu przedstawiono przykłady niepożądanych efektów wywołanych zarówno nieliniowością urządzeń nadawczych i odbiorczych jak i efektami niedopasowania w torze.

### 7.1 Poziom zaburzeń harmonicznyc

Jednym z częstych problemów spotykanych podczas badań urządzeń aktywnych jest powstawanie niepożądanych produktów w postaci sygnałów harmonicznyc. Zjawiska związane z występowaniem

harmonicznych, zwłaszcza o poziomach przekraczających dopuszczalne, są szczególnie istotne, gdyż widmo niepożądaných sygnałów może być obserwowane w szerokim zakresie częstotliwości, nawet kilkuset MHz.

Gdy do typowo obserwowanych harmonicznych wyższego rzędu dołożą się jeszcze składowe związane z nieliniowością pracy wzmacniacza w torze wyjściowym, efekt generowania zaburzeń harmonicznych przez urządzenie nadawcze (nawet małej mocy) może być dodatkowo wzmocniony.

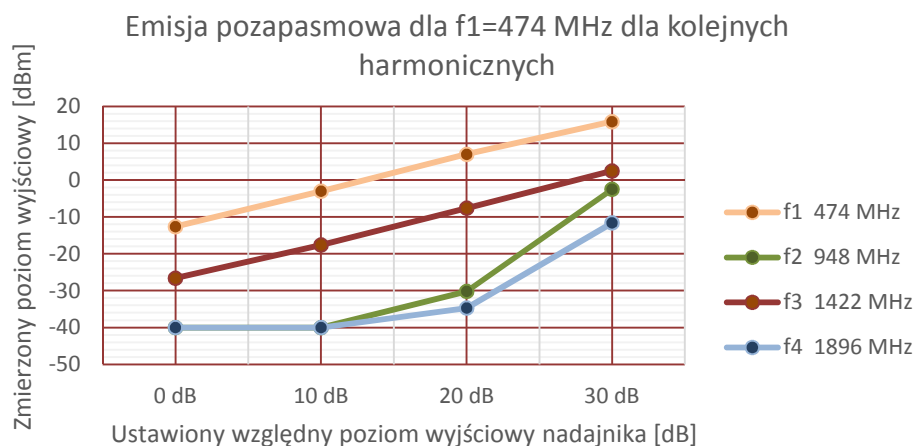
Poniżej zostały przedstawione efekty generowania harmonicznych przez urządzenia. Dla celu demonstracji tego zjawiska na urządzeniach zbliżonych do WSD, zastosowano zestaw oparty o urządzenia USRP firmy National Instruments. Zestaw testowy przygotowano do pracy tak, aby w trakcie badań prowadzona była transmisja pomiędzy tymi urządzeniami. Z uwagi na ograniczenia sprzętowe współpracujących komputerów stosowano kanały transmisyjne o szerokości 2 MHz. Urządzenia USRP pozwalają na definiowanie częstotliwości pracy w zakresie od 50 MHz do 2,2 GHz. Do badań wybrano pracę w kanale 21 (tj. na częstotliwości 474 MHz).

Aby zobrazować wpływ nieliniowości wzmacniacza na generowanie harmonicznych zastosowano 4 nastawy wzmocnienia z jaką pracowało urządzenie poddane testom (DUT), były to: 0 dB – odpowiadające poziomowi wyjściowemu -12,6 dBm; 10 dB – odpowiadające poziomowi wyjściowemu -3 dBm; 20 dB – odpowiadające poziomowi wyjściowemu 7 dBm oraz 30 dB – odpowiadające poziomowi wyjściowemu 15,9 dBm.

W Tabeli 1 podano poziom nastawy, rzeczywisty poziom generowany na częstotliwości podstawowej  $f$  oraz poziomy zmierzone dla harmonicznych odpowiednio pierwszej  $f_1$ , drugiej  $f_2$  oraz trzeciej  $f_3$ . Ponadto dla lepszego zobrazowania momentu, w którym wzmacniacz pracuje nieliniowo wyniki te przedstawiono również na Rysunku 1.

Tabela 1. Poziomy harmonicznych w zależności od poziomu wyjściowego badanego urządzenia

Poziom	$f_1$ 474 MHz	$f_2$ 948 MHz	$f_3$ 1422 MHz	$f_4$ 1896 MHz
0 dB	-12,6 dBm	-40 dBm	-26,6 dBm	-40 dBm
10 dB	-3 dBm	-40 dBm	-17,6 dBm	-40 dBm
20 dB	7 dBm	-30,2 dBm	-7,6 dBm	-34,7 dBm
30 dB	15,9 dBm	-2,5 dBm	2,5 dBm	-11,6 dBm



Rys. 1. Wpływ poziomu mocy nadawania na wielkość zaburzeń harmonicznych

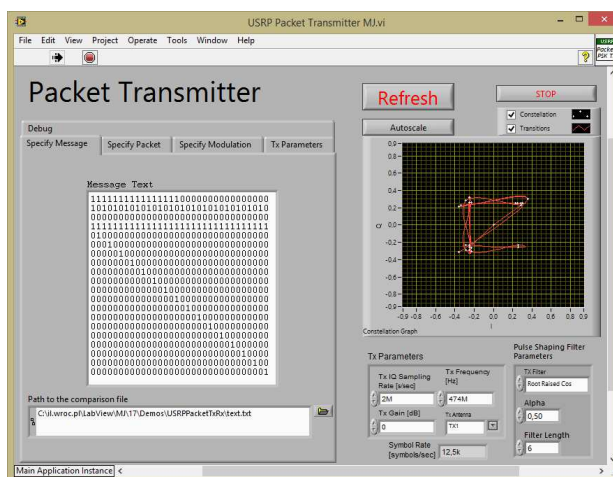
Jak można łatwo zaobserwować, poziom emisji zaburzeń dla harmonicznych jest znaczny i istotnie rośnie wraz ze wzmocnieniem na wyjściu nadajnika, co znacząco ogranicza możliwość wykorzystania tego wzmocnienia, jeśli urządzenie miałoby pracować w sposób niezakłócający pracy innych urządzeń. Na rysunku 2 przedstawione zostały wyniki pomiarów charakterystyki zaburzeń za pomocą analizatora widma przy poziomie nastawy DUT 30 dB.

Poziom produktów generowanych poza pasmem pracy dla przedstawionych w powyższym przykładzie badań jest tylko o kilkanaście decybeli niższy niż poziom sygnału generowanego przez urządzenie pracujące w WS. Ponadto należy tu zauważyć, że niepożądane produkty (harmoniczne) pochodzące od sygnału WSD są również zaburzeniami szerokopasmowymi o szerokości kanału jedynie o kilka procent węższymi niż sygnał generowany w paśmie podstawowym.

Na Rys. 3. zestawiono zarejestrowane charakterystyki widmowe emitowanego sygnału o częstotliwości środkowej 474 MHz z przesuniętymi w dziedzinie częstotliwości charakterystykami widmowymi produktów harmonicznych na częstotliwościach odpowiednio 948 MHz, 1422 MHz i 1896 MHz.

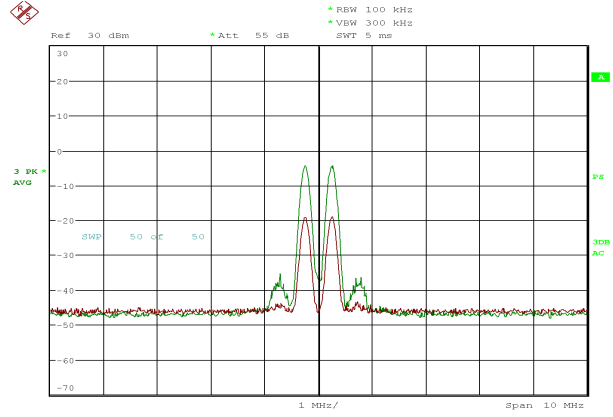
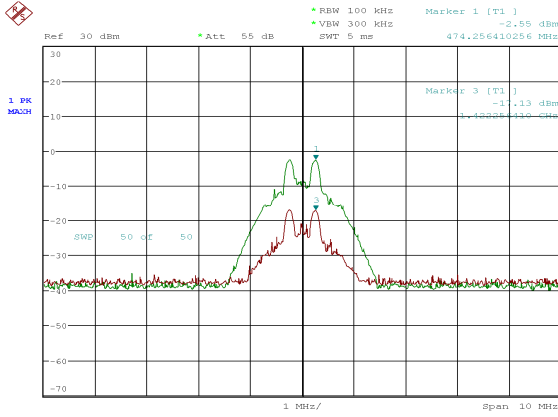
W pomiarach powyżej 1 GHz stosuje się zazwyczaj szerokość filtru pomiarowego RBW 1 MHz, jednak ze względu na potrzeby zobrazowania na jednej skali amplitudowej wszystkie pomiary wykonano z tym samym RBW 100 kHz. Na rysunkach widać wyraźnie zmianę kształtu i wielkości produktów harmonicznych w miarę zwiększania wzmocnienia wyjściowego WSD w trybie nadawania.

Na Rys. 3 zobrazowano różnicę w wynikach pomiaru uzyskanych za pomocą dwóch różnych trybów obrazowania wyników: Max Hold i Average - widoczna jest złożoność sygnału w dziedzinie czasu. Pojedynczy pomiar tradycyjnym odbiornikiem pomiarowym nie jest w stanie oddać przebiegu emisji / kształtu sygnału przy modulacji szerokopasmowej sygnałów cyfrowych, w tym przypadku QPSK, 8 sampli na symbol, 2 M sampli na sekundę.

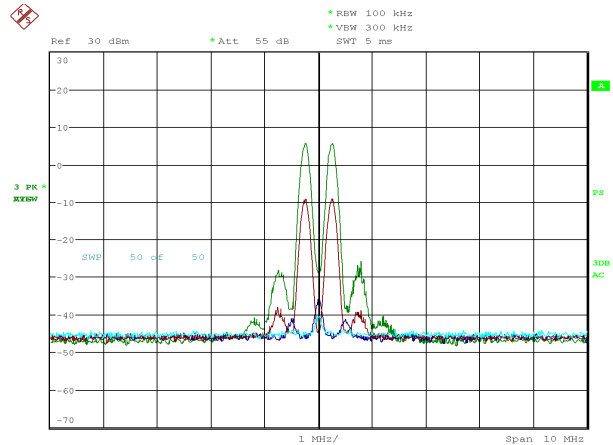
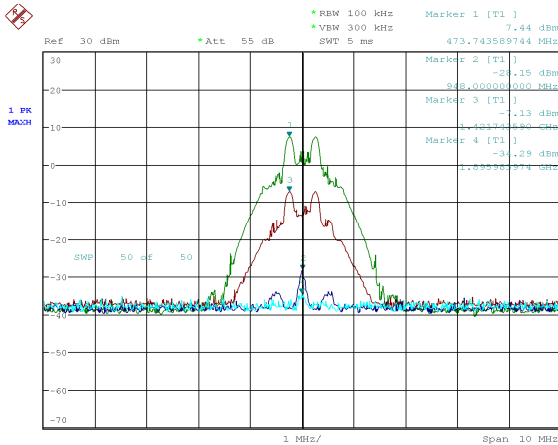


Rys. 2. Transmisja polegająca na wielokrotnym wysłaniu tego samego zbioru 640 znaków.

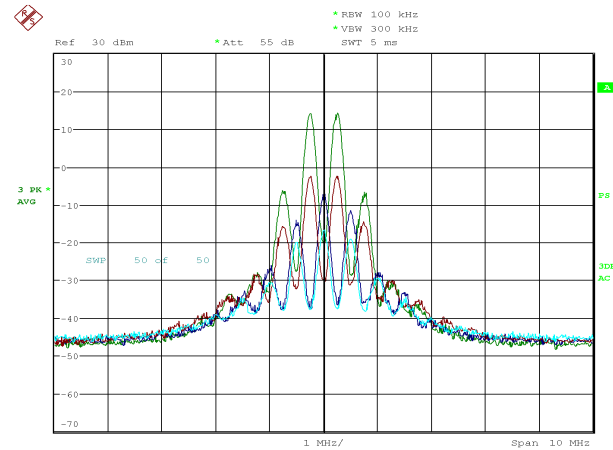
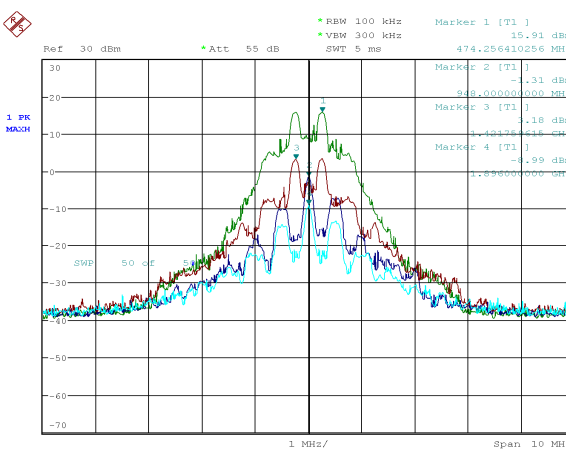
**Wzmocnienie na wyjściu USRP: 10 dB**



**Wzmocnienie na wyjściu USRP: 20 dB**



**Wzmocnienie na wyjściu USRP: 30 dB**





Pomiar w trybie Max Hold – co najmniej 50 przebiegów

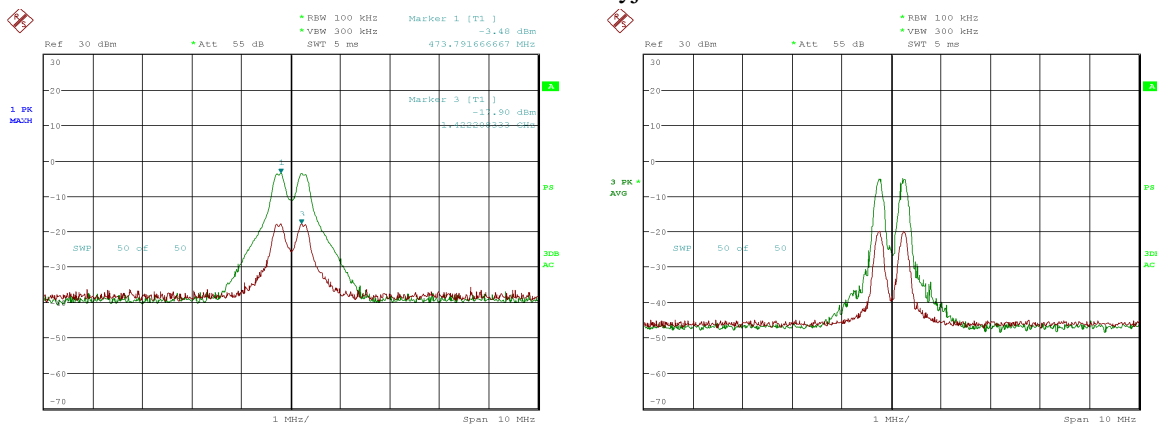
Pomiar w trybie Average – ostatnie 50 przebiegów

Rys. 3. Nałożone na podstawowy sygnał (zielony) kolejne zaburzenia harmoniczne:  $f_2$  (granatowy),  $f_3$  (brązowy),  $f_4$  (niebieski). Wszystkie przebiegi uzyskano z użyciem detektora Peak. Modulacja QPSK.

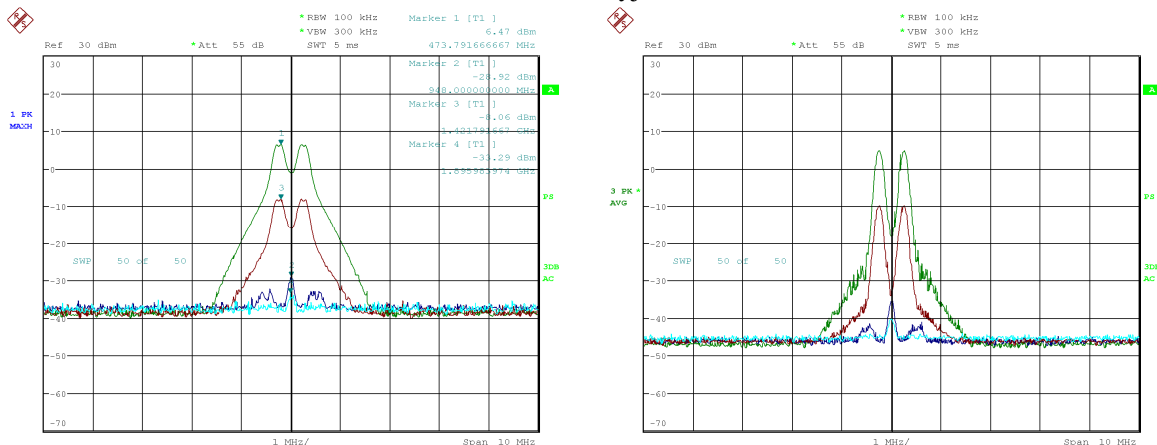
Na Rys. 4. zaprezentowano analogiczne pomiary, ale z użyciem modułacji FSK i identyczną zawartością i szybkością przesyłanych informacji. Różnice między modulacjami QPSK i FSK są niewielkie, jeśli chodzi o amplitudę i szerokość widmową harmonicznym.

Modulacja FSK wykazywała większą stopę błędów przy tej samej konfiguracji przestrzennej układu pomiarowego i tych samych pozostałych parametrach transmisji. Przy sprawdzaniu skuteczności transmisji analizator widma był odłączany i w jego miejsce umieszczono dedykowaną do USRP antenę.

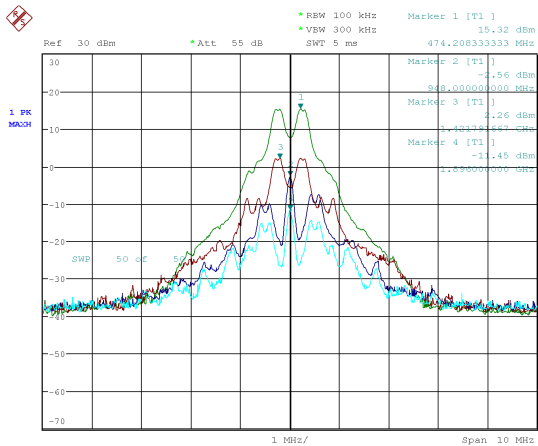
Wzmocnienie na wyjściu USRP: 10 dB



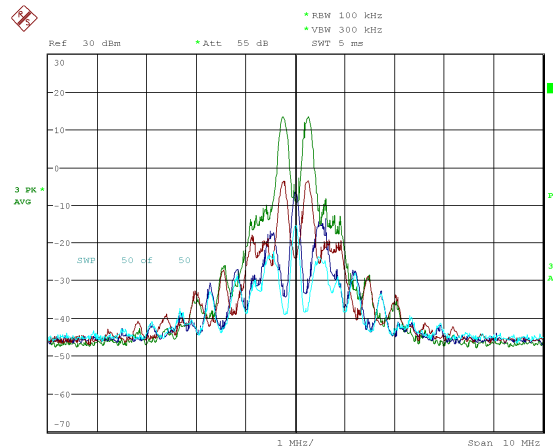
Wzmocnienie na wyjściu USRP: 20 dB



Wzmocnienie na wyjściu USRP: 30 dB



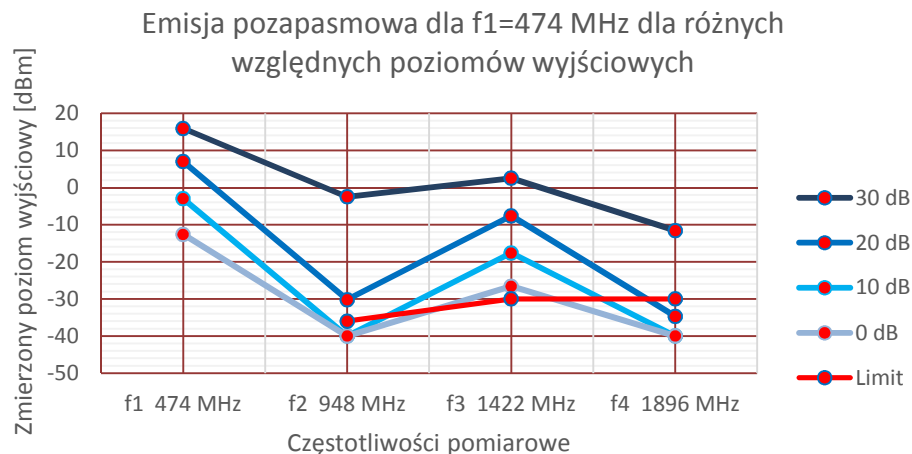
Pomiar w trybie Max Hold – co najmniej 50 przebiegów



Pomiar w trybie Avarage – ostatnie 50 przebiegów

Rys. 4. Nałożone na podstawowy sygnał (zielony) kolejne zaburzenia harmoniczne:  $f_2$  (granatowy),  $f_3$  (brązowy),  $f_4$  (niebieski). Wszystkie przebiegi uzyskano z użyciem detektora Peak. Modulacja FSK.

Gdy porówna się zarejestrowane poziomy do wymagań określonych w normie [3] dedykowanej dla WSD, to jak pokazano na Rys. 5, poziom zaburzeń pozapasmowych będących harmonicznymi znacznie przekracza poziom dopuszczalny (kolor czerwony). Coraz większe przekroczenia dopuszczalnego limitu można obserwować w miarę przechodzenia urządzenia w zakres nieliniowej pracy układu wzmacniacza wyjściowego urządzenia. Należy na to szczególnie zwrócić uwagę, ponieważ użytkownicy często przejawiają tendencję do wykorzystania maksymalnej dostępnej mocy urządzenia. W związku z tym producenci urządzeń mających pracować w WS powinni tak projektować swoje urządzenia, aby wzmacniacz wyjściowy w ich urządzeniu mógł być wykorzystywany przez użytkownika końcowego tylko w zakresie swojej liniowej pracy, kiedy to wytwarzane harmoniczne mają poziom mniejszy od dopuszczalnego.



Rys. 5. Emisja pozapasmowa – wartości szczytowe przy modulacji FSK

Przedstawione tu wyniki prezentują zachowanie się wybranego urządzenia pracującego w ściśle określonej konfiguracji.

## 7.2 Intermodulacje

Efektom często pomijanym przez twórców rozwiązań dedykowanych dla urządzeń transmisji cyfrowej są intermodulacje i ich produkty. W Zakładzie Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności – PIB we Wrocławiu od kilkunastu lat podnoszony jest problem, jakim są zagadnienia związane z tym efektem w cyfrowych urządzeniach radiowych. Prace realizowane w Instytucie Łączności – PIB przez prof. Strużaka dotyczące m.in. źródeł i przyczyn intermodulacji wskazują, że nie tylko na podstawie wyników badań, jak pokazane w tej sekcji, ale również na podstawie analiz można wnioskować o konieczności uwzględniania tego zagadnienia w celu uniknięcia kolizji przy doborze częstotliwości pracy i zmniejszenia generowania zaburzeń podczas prowadzenia transmisji bezprzewodowej do poziomu akceptowalnego. Badania związane ze zjawiskiem intermodulacji zostały również wprowadzone do normy [3].

W trakcie prac prowadzonych przez Laboratorium Badań EMC od wielu lat obserwowane są produkty intermodulacyjne generowane w układach wyposażonych w elementy aktywne, zwłaszcza w urządzeniach szerokopasmowych. W ostatnich latach zarówno podczas badań urządzeń DVB-T jak i wspomnianego systemu testowego USRP zarejestrowano przypadki występowania zjawisk intermodulacyjnych.

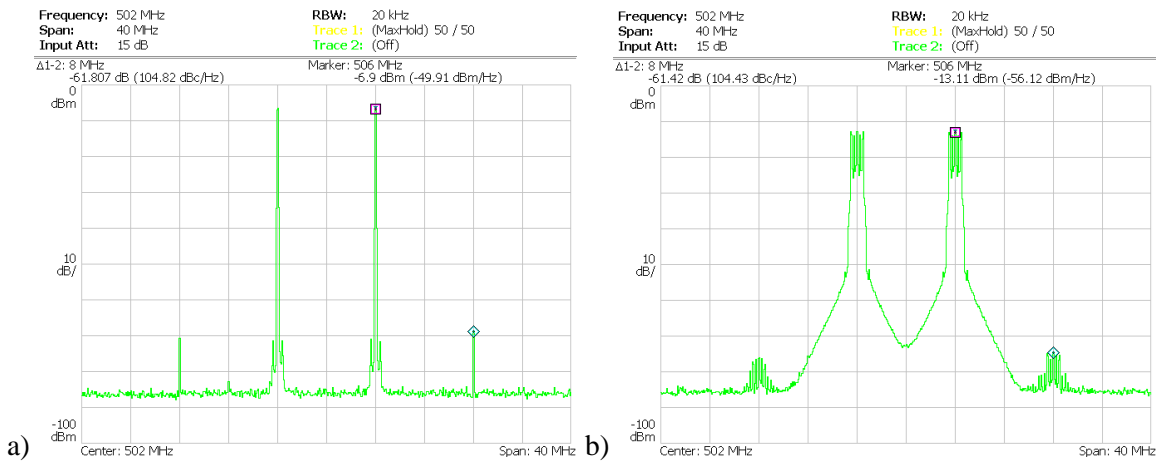
Oprócz produktów intermodulacyjnych własnych pochodzących od WSD istotne dla takich urządzeń mogą być również zaburzenia intermodulacyjne jakie wytwarzają się w najbliższych kanałach, a pochodzą od urządzeń DVB-T pracujących niekoniecznie na najbliższej czy sąsiedniej częstotliwości.

Efekty oddziaływania zaburzeń intermodulacyjnych na odbiornik WSD mogą powodować „zatykanie” wejścia i niemożliwość poprawnej pracy takiego urządzenia.

Efekty intermodulacji generowanych przez nadajnik WSD mogą być obserwowane na odbiornikach urządzeń przeznaczonych do odbioru np. telewizji DVB-T. Taka sytuacja, kiedy służba pierwszej ważności mogłaby zostać zakłócona przez efekty pochodzące od urządzeń, które teoretycznie mają być niekolizyjne, jest niedopuszczalna.

Intermodulacje pochodzące od urządzeń USRP obserwowane na odbiorniku pomiarowym przedstawia Rys. 6, zaś na Rys. 7 przedstawiono przykładowe efekty intermodulacyjne obserwowane podczas badań laboratoryjnych urządzeń z aktywnymi antenami pracujących w paśmie DVB-T. Badania, których wyniki zostały przedstawione na Rys. 7. zostały wykonane dla wielu różnych telewizyjnych anten aktywnych dostępnych na rynku, z czego wybrano dwa skrajne przypadki. Anteny w celu zapewnienia powtarzalnych wyników badań były umieszczane w linii paskowej zasilanej z dwóch generatorów poprzez separator i układ dopasowujący impedancję falową. Na Rysunku 7a) przedstawiono wyniki badań (produkty intermodulacyjne) dla anteny o parametrach nie spełniających wymagań normy dot. zniekształceń nieliniowych dla wzmacniaczy antenowych [4], natomiast na Rysunku 7b dla anteny spełniającej wymagania normy.

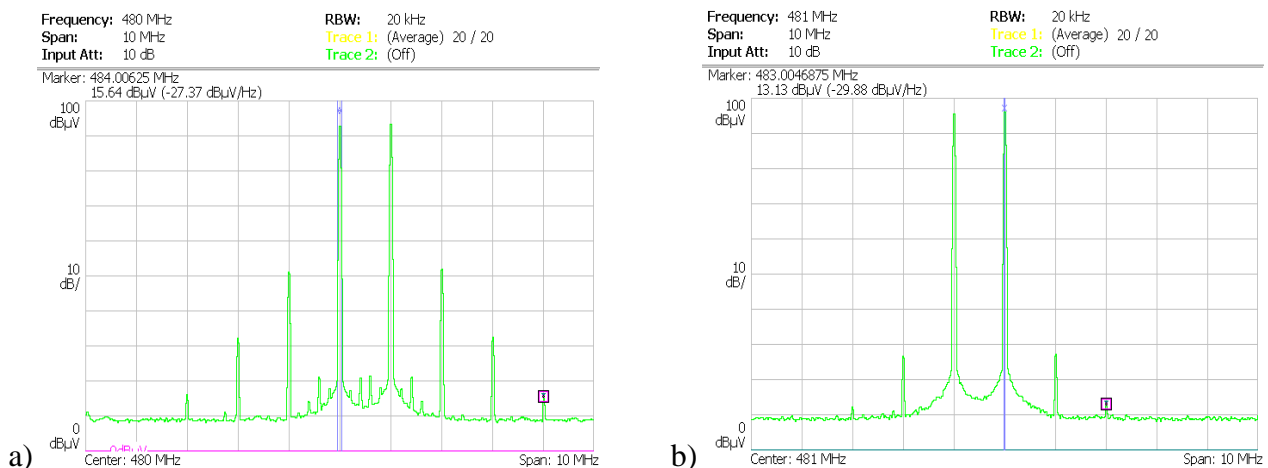
Emisja odbywała się w 24 i 25 kanale telewizyjnym. Produkty intermodulacyjne występują w kanałach 23 i 26. Jako źródło emisji wykorzystano dwa urządzenia NI USRP-2920 wysyłające ciągi znaków zakodowane z modulacją QPSK, 8 sampli na symbol z mocą około 10 dBm. Sygnały doprowadzono do wejścia odbiornika poprzez sumator i tłumiki zabezpieczające urządzenia nadawcze i odbiornik pomiarowy przed przeciążeniem.



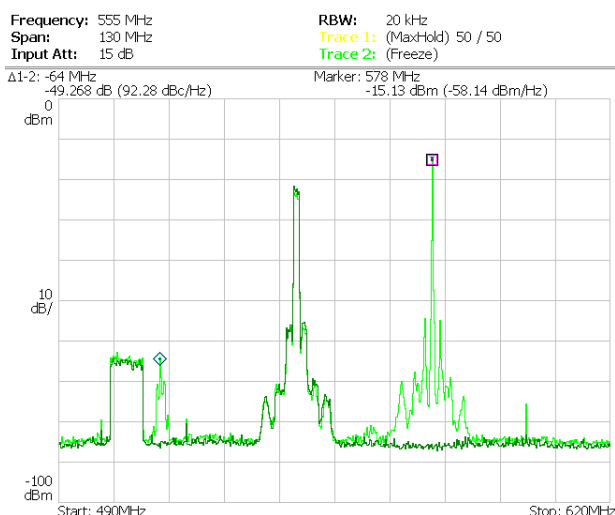
Rys. 6. Intermodulacje wytwarzane na wejściu odbiornika pomiarowego. a) emisja 100k s/sek  
b) 8 M s/sek.

Badania, których wyniki przedstawiono na Rys. 6 były przeprowadzone z wykorzystaniem laboratoryjnego analizatora widma wysokiej klasy (w tym wypadku był to analizator czasu rzeczywistego Tektronix RSA 3804A), dlatego powstałe produkty intermodulacyjne mają bardzo mały poziom. Ale jeśli zestawimy te wyniki z wynikami badań przedstawionymi na Rys. 7, można zauważyć, że jeśli takie dwa sygnały dotarłyby do złej jakości anteny aktywnej dołączonej do odbiornika telewizyjnego, odbiór sygnału DVB-T w kanale sąsiednim mógłby być zakłócony. Wskazuje to jednoznacznie jak istotne jest, aby wszystkie urządzenia różnych systemów pracujących w sąsiednich pasmach częstotliwości spełniały wymagania kompatybilności elektromagnetycznej i innych norm przedmiotowych.

Na potwierdzenie tej tezy przeprowadzono eksperyment, w ramach którego uruchomiono w trybie nadawania dwa urządzenia USRP w pobliżu anteny aktywnej wykorzystywanej w odbiorze telewizji cyfrowej DVB-T. Wynik tego eksperymentu został przedstawiony na Rys. 8.



Rys. 7. Pomiar intermodulacji dla dwóch różnych telewizyjnych anten aktywnych.  
a) antena o gorszych parametrach nie spełniająca normy dot. zniekształceń nieliniowych dla wzmacniaczy antenowych. b) antena spełniająca normę.



Rys. 8. Pomiar sygnału wyjściowego z anteny aktywnej w obecności sygnału MUX-3 nadawanego z nadajnika na Ślęży 506 MHz przy włączonym tylko jednym nadajniku USRP 546 M (ciemnozielony) lub z dwoma nadajnikami USRP 546 MHz i 578 MHz (jasnozielony).

Na Rys. 8 widać obok sygnału MUX-3 produkt intermodulacji powstający w antenie aktywnej. Poziomy tych sygnałów są porównywalne, co oznacza, że w razie zmiany częstotliwości drugiego z nadajników o 8 MHz produkt intermodulacyjny zostałby przesunięty dokładnie w środek sygnału MUX-3 zakłócając, a być może nawet uniemożliwiając jego odbiór, mimo że same nadajniki USRP pracują w tzw. białych przestrzeniach. Choć przykład przedstawiony na Rys. 8 może się wydawać na pierwszy rzut oka przerysowany, to nie jest on zupełnie nierealny. Taki przypadek może odpowiadać sytuacji, gdy dwa WSD pracują w tym samym lub sąsiednim pomieszczeniu, w którym umieszczony jest odbiornik telewizyjny z pokojową anteną aktywną. Blokada odbioru w rzeczywistych warunkach następuje przy dużo niższych poziomach zakłóceń wchodzących w pasmo kanału cyfrowej telewizji naziemnej.

### Intermodulacje – tabela możliwych konfliktów dla obszaru Wrocławia

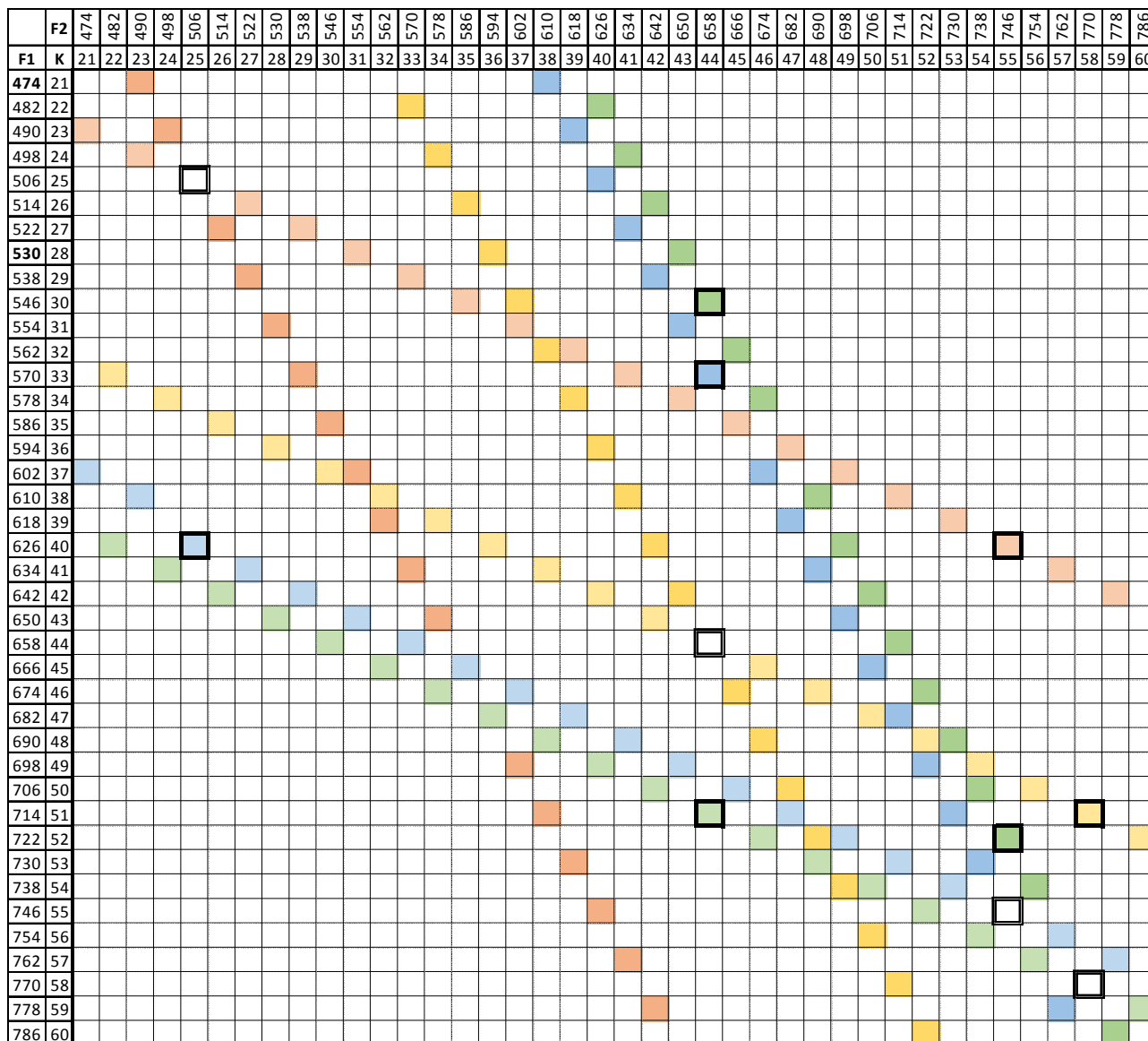
Poniżej na Rys. 9 przedstawiono częstotliwości, których użycie dla dwóch urządzeń WSD lub użycie jednego ale w obszarze bardzo silnego sygnału od stacji komercyjnej cyfrowej telewizji naziemnej może powodować powstawanie produktów intermodulacyjnych we wzmacniaczu w.cz. anteny aktywnej lub odbiornika DVB-T.

Tabela 2. Uwzględnione w przykładowej analizie obiekty nadawcze:

Obiekt	Dł. geogr.	Szer. geogr.	MUX	F [MHz]	Kanał	Moc [kW]	Wysokość n.p.m. [m]	Wysokość n.p.t. [m]	Typ emisji	Typ anteny
Wrocław Ślęża	16E42m42s	50N51m55s	MUX 3	506	25	100	693	125	MPEG-4 AVC, 64QAM, 5/6, 1/4 SFN +3us.	dookólna
Wrocław Ślęża	16E42m42s	50N51m55s	MUX 1	746	55	100	693	125	MPEG-4, 64QAM, 5/6, 1/4 SFN +0.	dookólna
Wrocław Ślęża	16E42m42s	50N51m55s	MUX 2	770	58	100	693	125	MPEG-4, 64QAM, 8k, 5/6, 1/4.	dookólna
Wrocław Żórawina	17E01m51s	50N59m10s	MUX 4	658	44	8	135	258	QPSK, 2/3, 1/8.	kierunkowa

Wrocław Leśnica Młyn	16E52m23 s	51N08m4 0s	MUX 4	658	44	3	117	20	QPSK, 2/3, 1/8.	dookólna
Wrocław Grunwaldzk a Kredka	17E04m03 s	51N06m5 3s	MUX 4	658	44	5	120	86	QPSK, 2/3, 1/8.	kierunkow a

Źródło danych: <http://radiopolska.pl/portal/staticpages/index.php?page=wykaz> , <http://emi.emitel.pl/EMITEL/obiekty.aspx>



Rys. 9. Możliwe konflikty związane z intermodulacjami przy czterech nadajnikach DTT dla dwóch WSD (oznaczone kolorem dla dwóch WSD o częstotliwościach nadawania F1 i F2) lub jednego WSD (oznaczone pogubionym obramowaniem dla częstotliwości z kolumny F1) intermodulującego z z jednym z nadajników DTT. Podwójnie obramowany kwadrat oznacza nadajnik DTT, którego częstotliwości również nie wolno zająć.

Przykład potencjalnych źródeł zakłóceń dla MUX 1 nadawanego ze Ślęży na częstotliwości 746 MHz – kanał 55:

- para WSD pracująca na jednej z par częstotliwości oznaczonych na niebiesko, np. F1= 762 MHz i F2 778 MHz,

$$2 \cdot 762 - 778 = 746 \text{ MHz}$$

- pojedynczy WSD pracujący na F1= 626 MHz lub 570 MHz oznaczonych obramowanymi kwadratami niebieskimi, czyli intermodulacja między WSD i nadajnikami DTT: MUX 3 506 MHz lub MUX 4 658 MHz,

$$2 \cdot 626 - 506 = 2 \cdot 658 - 570 = 746 \text{ MHz}$$

### 7.3 Podsumowanie części poświęconej zaburzeniom nieliniowym

Praca ta miała za zadanie zbadanie realnych zjawisk związanych z generowaniem sygnałów niepożądanych przez same urządzenia WSD, jak również możliwości tworzenia się produktów intermodulacyjnych na wejściach odbiorników DVB-T skutecznie zakłócających odbiór nadawanych programów z użyciem szerokopasmowej modulacji cyfrowej. W efekcie przygotowano artykuł, który został zaprezentowany na konferencji KSTiT 2014 w Poznaniu i został opublikowany w Przeglądzie Telekomunikacyjnym. W artykule tym zwrócono szczególną uwagę na problemy z kompatybilnością urządzeń przewidywanych do pracy w WS. Obecnie, gdy coraz większym zainteresowaniem cieszy się możliwość wykorzystywania WS, trzeba zadbać o to, aby zagadnienia z zakresu EMC zostały przemyślane i zaimplementowane zarówno w rozwiązaniach algorytmów dla radia kognitywnego (np. poprzez wyliczanie i zabezpieczanie przed pracą na częstotliwościach, na których może sygnał interferować) jak i przy rozwiązaniach typowo sprzętowych (np. poprzez zadbanie o zapewnienie liniowości pracy wzmacniaczy).

Przedstawiono przykłady sygnałów niepożądanych mogących powstawać w samych WSD (harmoniczne) oraz mogących powstawać zarówno w urządzeniach WSD jak również w innych urządzeniach pracujących w tym samym lub sąsiednim paśmie częstotliwości (intermodulacje).

W pracy i w artykule zasygnalizowano rzeczywiste problemy, z którymi mogą się spotkać twórcy urządzeń WSD i systemów na nich opartych. Implementacja rozwiązań pozwalających na ograniczenie podatności urządzeń na zakłócenia, a także zmniejszenie do wymaganego przez normy poziomu generowanych zaburzeń na etapie opracowywania urządzeń jest o wiele mniej kosztowna, niż późniejsze usuwanie już powstałych problemów lub rezygnacja z już wyprodukowanych urządzeń.

### 7.4 Omówienie normy ETSI EN 301598 v.1.1.1 (2014-04)

Omówienie nie jest kompletnym tłumaczeniem normy, a tylko wskazuje na zagadnienia związane z możliwymi do przeprowadzenia pomiarami EMC. Poniżej przedstawiono obecne możliwości pomiarowe Z-21 i wyniki tych pomiarów w kontekście opisanych wyżej zjawisk z wykorzystaniem metodologii pomiarowej proponowanej przez normę.

Norma określa kilka grup wymagań dotyczących samego funkcjonowania urządzeń TVWSD (TV White Space Device) związanych z komunikacją z systemem zarządzania WS w oparciu o zgromadzone w nim dane, czyli z TVWSDB (TV White Space Database) oraz wymagania związane z potencjalnym oddziaływaniem na inne urządzenia, w tym odbiorcze urządzenia naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T, DTT (Digital Terrestrial Television), podstawowego użytkownika pasma 470 – 790 MHz (kanały 21- 60).



### 7.4.1 Limity

Ograniczenia związane z emisją promieniowania elektromagnetycznego dotyczą całkowitej promieniowanej mocy blokowej w kanale 8 MHz oraz gęstości widmowej mocy dla dowolnego pasma o szerokości 100 kHz w kanale DTT.

W przypadku zajmowania jednoczesnego przez TVWSD kilku kanałów (kolejnych lub rozłącznych) wszystkie rozważania należy odnosić do poszczególnych kanałów 8 MHz, tak jakby to były transmisje oddzielne. Jest to wyjaśnione w dodatku informacyjnym do normy – Anex E.

#### 7.4.1.1 Emisja poza pasmem DTT

Nałożone są ograniczenia na emisję niepożądaną poza pasmem DTT 470-790 MHz dla pracy w trybie nadawania. Badaniu podlega emisja mierzona na wyjściu antenowym (przewodzona) oraz emisja promieniowana pochodząca od obudowy. Dla urządzeń ze zintegrowaną anteną mierzona jest tylko emisja promieniowana. Norma określa w Tabeli 3 następujące poziomy dopuszczalne dla emisji pozapasmowych:

Tabela 3. Poziomy dopuszczalne dla emisji pozapasmowych

Zakres częstotliwości	Moc maksymalna	Pasma pomiarowe
30 MHz do 47 MHz	-36 dBm	100 kHz
47 MHz do 74 MHz	-54 dBm	100 kHz
74 MHz do 57,5 MHz	-36 dBm	100 kHz
87,5 MHz do 118 MHz	-54 dBm	100 kHz
118 MHz do 174 MHz	-36 dBm	100 kHz
174 MHz do 230 MHz	-54 dBm	100 kHz
230 MHz do 470 MHz	-36 dBm	100 kHz
790 MHz do 862 MHz	-54 dBm	100 kHz
862 MHz do 1 GHz	-36 dBm	100 kHz
1 GHz do 4 GHz	-30 dBm	1 MHz

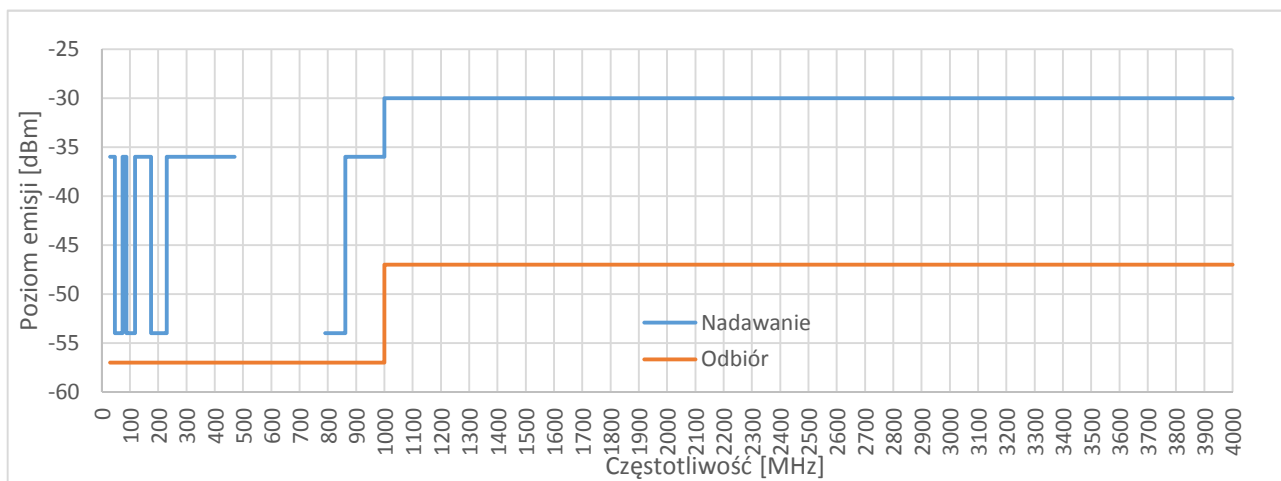
#### 7.4.1.2 Emisja zaburzeń przy pracy TVWSD w trybie odbiornika

Badana jest emisja przewodzona na wyjściu antenowym oraz promieniowana od obudowy. Dla urządzeń ze zintegrowaną anteną mierzona jest tylko emisja promieniowana przez całe urządzenie. W Tabeli 4 podane są nieprzekraczalne poziomy dla emisji zaburzeń.

Tabela 4. Poziomy dopuszczalne dla emisji zaburzeń

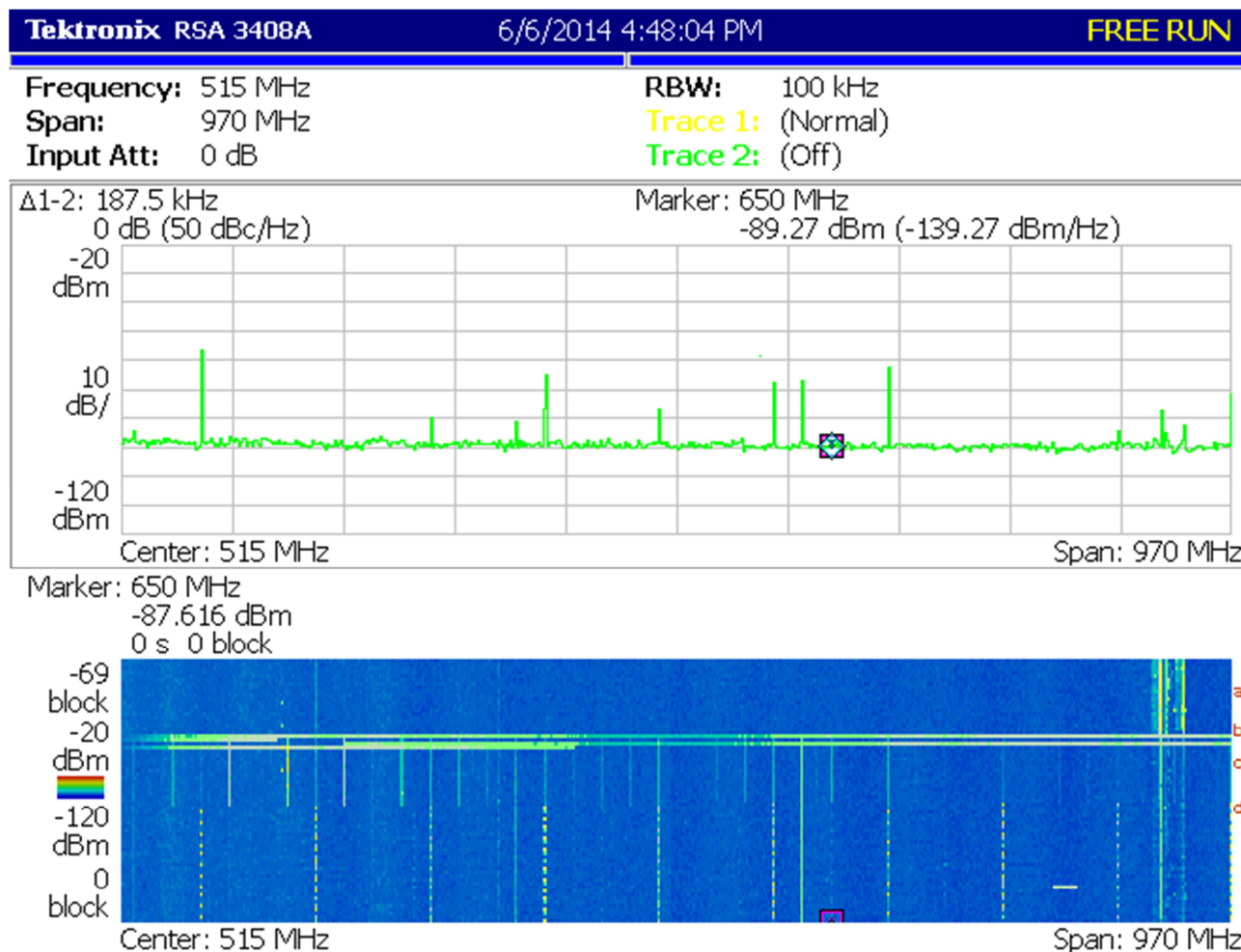
Zakres częstotliwości	Moc maksymalna	Pasma pomiarowe
30 MHz do 1 GHz	-57 dBm	100 kHz
1 GHz do 4 GHz	-47 dBm	1 MHz

Należy zwrócić uwagę, że tryb odbiornika oznacza również, że urządzenie jest tylko włączone i nie jest uruchomione żadne oprogramowanie.



Rys. 10. Zestawione razem poziomy dopuszczalne dla emisji w trybie nadawania (tylko pozapasmowe) i odbierania (cały zakres)

### 7.4.1.3 Badanie charakteru emisji zaburzeń w pasmie i poza pasmem DTT



Rys. 11. Tryb odbioru. Spektrogram od 30 MHz do 1000 MHz dla sekwencji: a - USRP wyłączony, b - włączenie USRP, c - oczekiwanie na załadowanie i uruchomienie programu, d - uruchomienie programu do odbioru pakietów danych tekstowych z modulacją QPSK. Żaden z widocznych prążków nie przekracza wartości dopuszczalnych. Z powodu użycia dodatkowego wzmacniacza, od widocznych wartości należy odjąć 27 dB.

Zarejestrowany spektrogram (początek rejestracji na górze, koniec rejestracji na dole odpowiadający widocznemu w górnej części widmu) pokazuje typowe zjawiska obserwowane w emitowanych zaburzeniach. W początkowym obszarze „a” widoczne są tylko zaburzenia pochodzące z otoczenia i nie są one związane z badanym urządzeniem. W obszarze „b” widoczne są zaburzenia szerokopasmowe obejmujące praktycznie całe badane pasmo 30 MHz-1 GHz i są one związane ze stanami nieustalonymi układów elektronicznych i ich zasilania po włączeniu urządzenia. W obszarze „c” pojawiają się ciągle zaburzenia wąskopasmowe co około 50 MHz, zaczynając od częstotliwości 75 MHz i są obserwowane w różnym nasileniu w całym badanym paśmie. W obszarze „d” większość zaburzeń widocznych w obszarze c znika, ale pojawiają się okresowo ciągle (czas trwania > 200ms) w regularnych odstępach co 100 MHz, zaczynając od częstotliwości 100 MHz. Dla różnych wielokrotności 100 MHz występuje inna okresowość w czasie. Zaburzenia te nie zanikają, ale tylko słabną do wartości niższej na przemian z wartością wyższą. Zarejestrowanie tych zaburzeń w trybie Max Hold nie jest w stanie oddać ich charakteru.

Ze względu na zmienność w czasie nie jest możliwy pomiar automatyczny przy użyciu odbiornika pomiarowego, o ile automatyczna procedura pomiarowa nie będzie zatrzymywała się po każdym kroku zmieniającym częstotliwość pomiarową na okres dwukrotnie dłuższy od najwolniejszego cyklu powtarzania się zaburzeń w celu zarejestrowania zaburzenia o największej mocy dla danego kroku. Przy szerokości pasma mierzonego 30 MHz - 1 GHz i RBW 100 kHz należałoby wykonywać pomiar co 50 kHz przez czas około 5 sekund dla każdego kroku. Taki pomiar trwałby około 27 godzin. Chcąc przebadać urządzenie, dla różnych trybów pracy zainstalowanego oprogramowania, należało by poświęcić na to kilka tygodni.

Dokonanie zmian w oprogramowaniu lub zmiana kluczowych parametrów powinna powodować konieczność powtórzenia badań.

#### 7.4.1.4 Emisja niepożądana w paśmie cyfrowej telewizji naziemnej

O ile poza pasmem cyfrowej telewizji naziemnej norma określa stałe poziomy dopuszczalne emisji, to dla emisji niepożądaney w paśmie cyfrowej telewizji naziemnej metoda wyznaczenia tych poziomów dopuszczalnych uwzględnia po pierwsze klasę urządzenia deklarowaną przez producenta/dostawcę, a po drugie zmierzony poziom sygnału pożądanego w paśmie/kanale nominalnym, czyli nadawanego przez WSD w sposób zamierzony.

Ograniczenie dotyczy  $P_{OOB}$  (Out-Of-Block EIRP spectral density), tj. mocy wypromieniowywanej poza pasmem nominalnym, czyli tym na którym WSD nadaje, ale na częstotliwościach znajdujących się w paśmie cyfrowej telewizji naziemnej 470-790 MHz.

Emisja pochodząca z WSD musi spełniać ograniczenie:

$$P_{OOB}(\text{dBm}/(100\text{kHz})) \leq \max\{P_{IB}(\text{dBm}/(8\text{ MHz})) - ACLR(\text{dB}), -84(\text{dBm}/(100\text{kHz}))\}$$

gdzie:

$P_{IB}$  – zmierzona blokowa EIRP gęstość widmowa dla kanału pomiarowego 8 MHz;

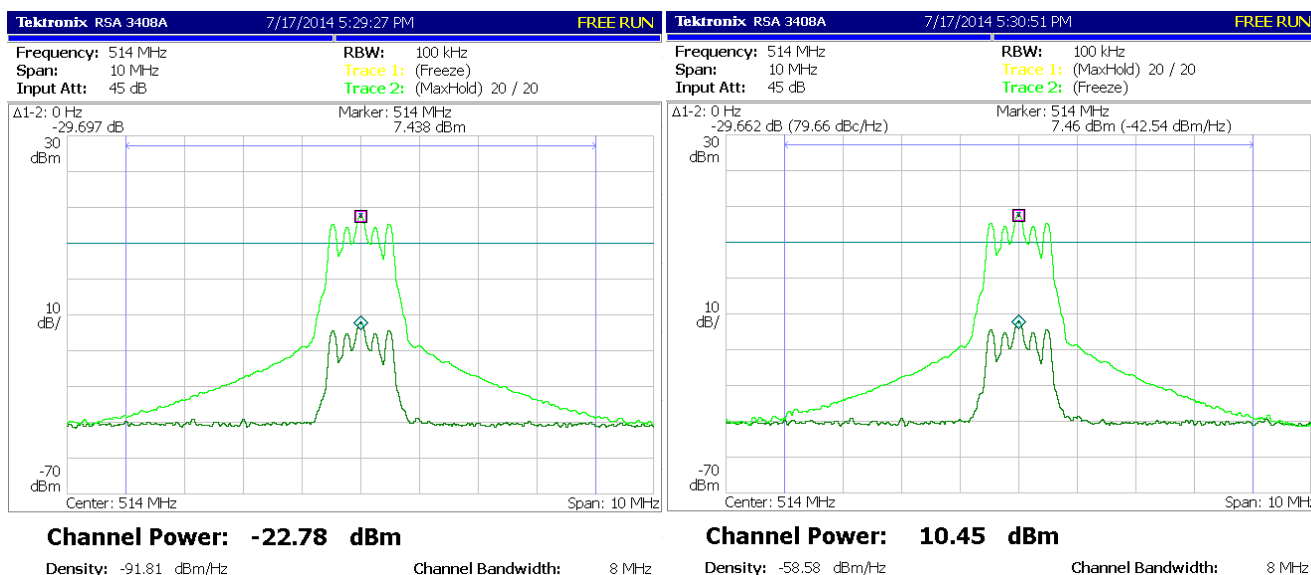
ACLR – współczynnik przenikania do kanału sąsiedniego określonego w tabeli 5 dla różnych klas urządzeń.

Tabela 5. Wymagania normy [3]

Nr kanału sąsiadującego z kanałem DDT (dla kanałów 8 MHz)	ACLR (dB)				
	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4	Klasa 5
$N = \pm 1$	74	74	64	54	43
$N = \pm 2$	79	74	74	64	53
$N \geq +3$ lub $N \leq -3$	84	74	84	74	64

Tabela 6. Wynik przeliczenia zmierzonego  $P_{IB}$ (dBm/(8 MHz)) z użyciem Tabeli 5 i ww. wzoru.

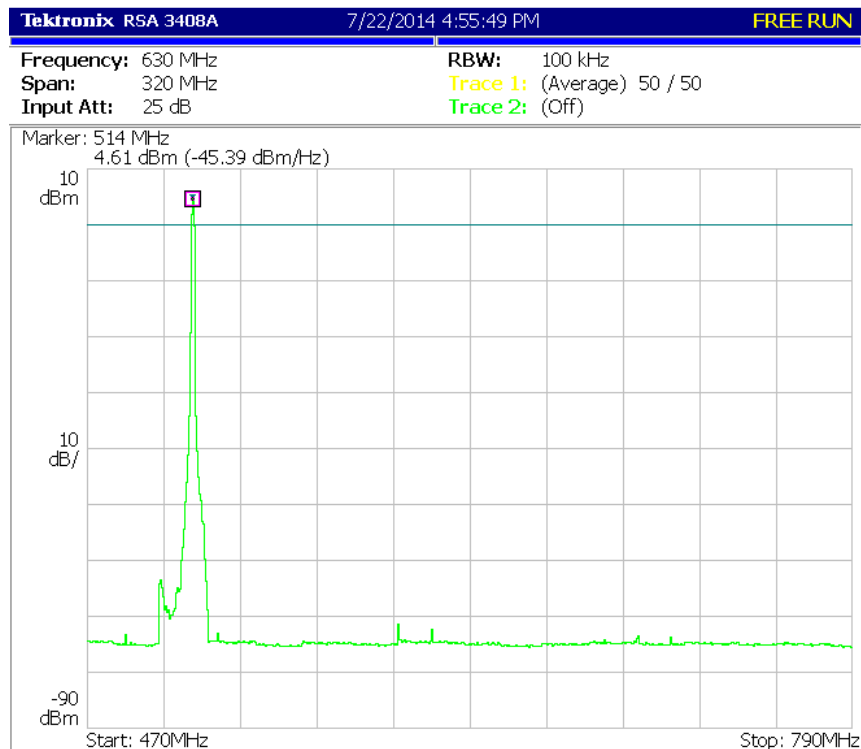
f [MHz]	Pomiar [dBm]	Kanał	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4	Klasa 5
534	<	$n \geq +3$	-73,5	-63,5	-73,5	-63,5	-53,5
526	<	$n = +2$	-68,5	-63,5	-63,5	-53,5	-42,5
518	<	$n = +1$	-63,5	-63,5	-53,5	-43,5	-32,5
514	<b>10,5</b>	$n = 0$	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
510	>	$n = -1$	-63,5	-63,5	-53,5	-43,5	-32,5
502	>	$n = -2$	-68,5	-63,5	-63,5	-53,5	-42,5
494	>	$n \leq -3$	-73,5	-63,5	-73,5	-63,5	-53,5



- a) Pomiar przy poziomie wyjściowym ustawionym na wartość minimalną 0 dB      b) Pomiar przy poziomie wyjściowym ustawiony na wartość maksymalną 30 dB

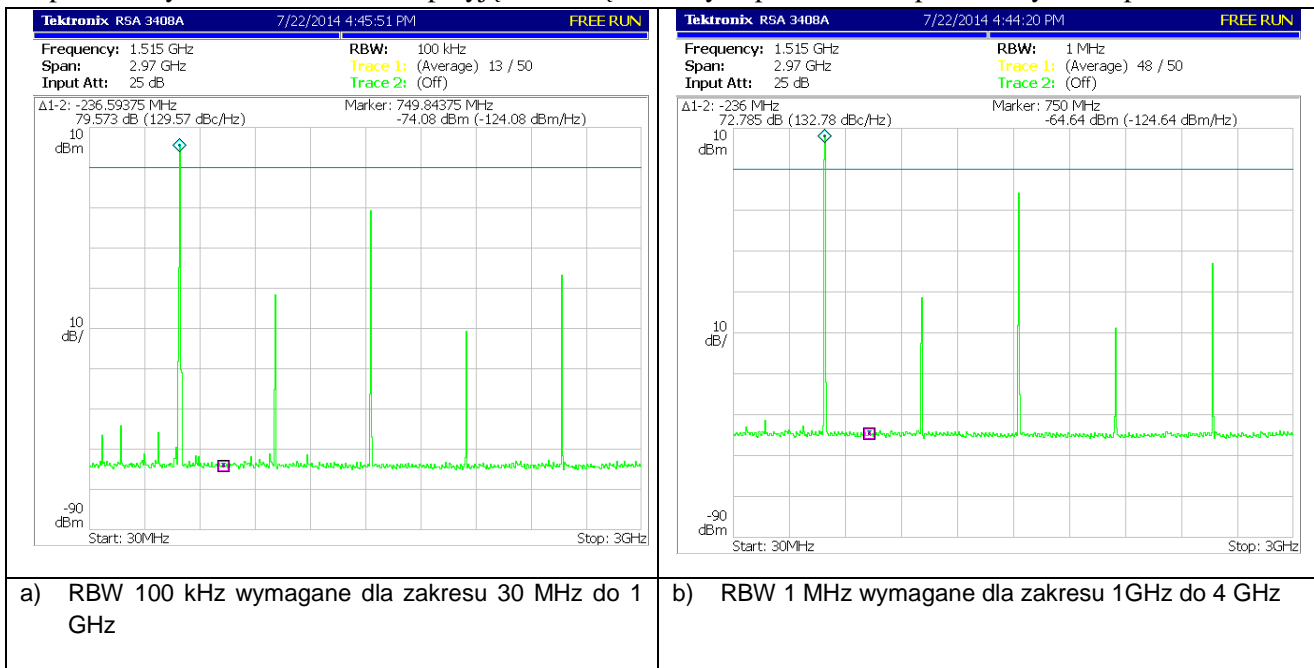
Rys. 12. Pomiar  $P_{IB}$ (dBm/(8 MHz)). Pomiar a) dotyczy Trace 2 (ciemniejszy), b) dotyczy Trace 1 (jaśniejszy)

Na Rys. 12. Widać zależność pomiędzy mocami nadawania i nastawami na urządzeniu nadawczym. Odnosi się to do wartości maksymalnych na wykresie widma i do mocy mierzonej w kanale 8 MHz .



Rys. 13. Emisja przy ustawionym poziomie nadawania 30 dB. Widoczne niepożądane prążki w kanałach o numerach odległych o co najmniej 3 od kanału nominalnego, zdecydowanie leżą poniżej poziomu -70 dBm.

Po porównaniu zarejestrowanych zaburzeń widocznych na Rys. 13 z przeliczonymi poziomami dopuszczalnymi z Tabeli 6 można przyjąć, że urządzenie tych poziomów dopuszczalnych nie przekracza.



Rys. 14. Różnice pomiędzy pomiarem z RBW 100 kHz i 1 MHz. Widoczny zakres tylko do 3 GHz związany jest z ograniczeniem pasma przy ustawieniu początku na 30 MHz. Pomiar ten służy ilustracji zjawisk zachodzących w trakcie pomiarów analizatorami widma.

#### 7.4.1.5 Tłumienie intermodulacji wstecznej nadajnika

Norma ogranicza możliwość emisji produktów intermodulacyjnych powstających na wyjściu nadajnika jako efektu intermodulacji sygnału pożądanego emitowanego przez nadajnik i sygnału niepożądanego z zewnątrz wprowadzanego do wzmacniacza antenowego poprzez antenę, np. pochodzącego z innego WSD.

Badania przeprowadza się z użyciem ciągłego sinusoidalnego sygnału o częstotliwości środkowej odległej o  $\pm 8$  MHz od środkowej częstotliwości sygnału pożądanego. Poziom sygnału niepożądanego powinien być 40 dB poniżej  $P_{IBMax}$  (dBm). Pomija się niepożądane sygnały znajdujące się poza pasmem 470-790 MHz.

Badaniu podlega tłumienie produktów intermodulacyjnych wstecznych 3-go rzędu RIM3 wyrażone w dB:

$$RIM3(P_{IB}) = (2 \times P_{IB}) + P_u - PIM3(P_{IB})$$

gdzie:

$P_{IB}$  – średnia moc blokowa (dBm)

$P_{IBMax}$  – maksymalna  $P_{IB}$ , którą może dostarczyć badane urządzenie

$P_u$  – moc sygnału niepożądanego (dBm), który powinien być ustalony 40 dB poniżej  $P_{IBMax}$ .

Zbadane  $RIM3(P_{IB})$  powinno być większe od 45 dB.

W trakcie badań prowadzonych w laboratorium podczas realizacji pracy nie stwierdzono dających się zarejestrować efektów intermodulacji wstecznej posiadanych nadajników.

#### 7.4.2 Sterowanie, monitoring, geolokalizacja, ograniczenie dostępu, bezpieczeństwo

Norma precyzyjnie określa prawidłowe zachowanie TVWSD w stosunku do TVWSDB, czyli urządzeń wykorzystujących pasmo telewizyjne do innych celów niż emisja programów telewizyjnych w stosunku do systemu administrującego dostępem do tego pasma w oparciu o zgromadzone odpowiedniej Bazie Danych informacje i stosowne kryteria wynikające z norm i ustaleń z użytkownikami pasma. Wymieniona jest w normie lista parametrów, które urządzenia TVWSD muszą być w stanie przekazywać do/z TVWSDB. Są to parametry dotyczące samego urządzenia oraz sposobu wykorzystania zajmowanego kanału. Szczególną uwagę zwrócono tu na sytuacje, gdy dochodzi do zakłócenia łączności pomiędzy bazą danych a urządzeniem pracującym w WS. Norma określa w jakich sytuacjach praca urządzenia TVWSD powinna być przerwana automatycznie. Określone też są wymagania czasowe dotyczące sprawdzania poprawności komunikacji z TVWSDB. Norma zwraca uwagę na konieczność sprawdzania skuteczności geolokalizacji (położenie geograficzne i wysokość n.p.m. anteny), zabezpieczenia urządzenia przed nieautoryzowaną zmianą oprogramowania lub chronionych parametrów oraz zabezpieczenia transmisji z TVWSDB pod względem prawidłowej autoryzacji i uniemożliwienia ingerencji w treść transmisji.



Ponieważ badane przez nas urządzenia nie posiadały tych funkcjonalności, stąd ta część badań została pominięta.

### **7.4.3 Metody badań**

#### **7.4.3.1 Warunki normalne i ekstremalne**

Norma nakazuje przeprowadzanie badań dla reprezentatywnych warunków środowiskowych określonych dla normalnych i ekstremalnych warunków pracy deklarowanych przez producenta. Jeśli warunki środowiskowe mają wpływ na sposób pracy urządzenia, to należy zapewnić odpowiednią różnorodność tych warunków.

Takie określenie warunków badań pozwala na dość swobodną interpretację przez wykonawców badań. Wykonanie badań w warunkach zimowych opadów przy bardzo niskich temperaturach może się okazać praktycznie niewykonalne. W przypadku np. sprzętu wojskowego takie badania są z pewnością wykonywane, jednak w przypadku sprzętu, który ma trafić do „zwykłego” użytkownika ekonomiczny wysiłek związany z wykonaniem całości badań może się okazać zabójczy dla opłacalności całego przedsięwzięcia.

#### **7.4.3.2 Anteny**

Urządzenia posiadające zintegrowane anteny można badać z użyciem złącz tymczasowych wykonanych do badań. Urządzenia z dołączanymi antenami należy badać na złączach antenowych. Urządzenia wieloantenowe z możliwością formowania wiązki należy badać w kierunku maksymalnego promieniowania z uwzględnieniem zysku anten i wzmocnienia związanego z formowaniem wiązki.

Pomiary emisji promieniowanej muszą być wykonywane zgodnie z zasadami opisanymi w Dodatkach B i C normy, określającymi szczegółowo sposób prowadzenia pomiarów na otwartym polu pomiarowym, w komorach bezechowych częściowo lub całkowicie.

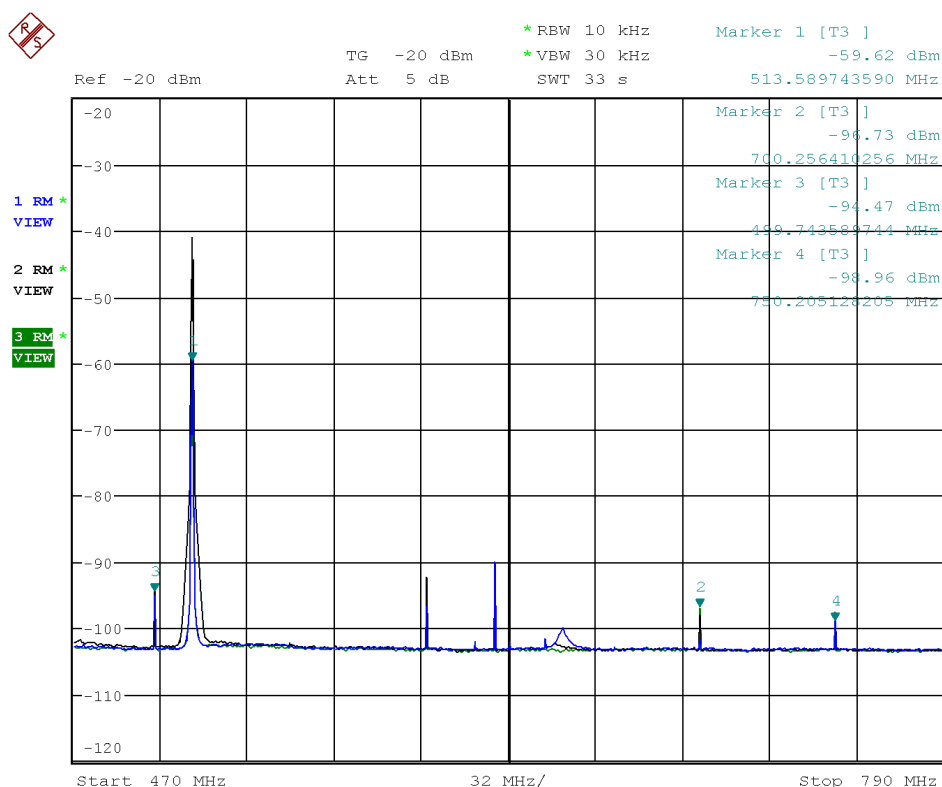
#### **7.4.3.3 Pomiar emisji zaburzeń w komorze GTEM**

Ze względu na małe rozmiary urządzenia wykonano pomiar emisji zaburzeń w komorze GTEM z wykorzystaniem wzmacniacza szerokopasmowego i analizatora widma RSA3408A.

Omawiana norma nie precyzuje poziomów dopuszczalnych dla emisji promieniowanej. W trakcie prac wykonano badania emisji pochodzącej od urządzenia USRP w komorze GTEM, jednak należy otwarcie stwierdzić, że pomiary te nie były ukierunkowane na spełnienie wymagań metrologicznych określonych w omawianej normie, a były tylko próbą zbadania związku pomiędzy poziomem zakłóceń rejestrowanych na wyjściu antenowym, z poziomem promieniowania wykazywanym przez urządzenie z dołączoną anteną na otwartym polu pomiarowym, którego funkcję w ograniczonym zakresie spełnia komora GTEM.

Badania te potwierdziły istnienie promieniowania elektromagnetycznego od urządzenia USRP pracującego w trybie odbioru lub po prostu włączonego, ale był to poziom na tyle niski, że dopiero użycie dodatkowego wzmacniacza 27 dB pozwalało uzyskać na analizatorze widma RSA przebiegi podobne do tych, które uzyskano na wyjściu antenowym.





Rys.15. Zrejestrowana w komorze GTEM emisja niepożądana w paśmie DTT w trakcie nadawania. Nałożone trzy przebiegi odnoszą się do trzech ortogonalnych połączeń USRP w stosunku układu odniesienia XYZ komory. W pomiarze użyto wzmacniacza 27 dB. Zastosowano RBW 10 kHz i VBW 30 kHz wymagane przez normę przy pomiarze emisji wewnątrz pasma DTT. Czas jednego przebiegu 33 sekundy!

Widoczne na Rys. 15. Zaburzenia zmierzone w komorze zostały przeliczone w sposób umożliwiający wyznaczenie wartości maksymalnych natężenia pola dla OATS (Open Area Test Site) przy odległości anteny pomiarowej 10 m i zmianie jej wysokości w granicach 1m do 4 m.

Tabela 7. Przeliczone dla OATS wyniki pomiarów w komorze GTEM dla USRP w trybie nadawania

[dBm]\MHz	500	514	600	625	700	750
X	-122	-86	-124	-117	-129	-126
Y	-121	-68	-119	-119	-125	-124
Z	-121	-87	-132	-132	-124	-126
<b>Emax</b>	<b>-107,02</b>	<b>-58</b>	<b>-105</b>	<b>-103</b>	<b>-107,5</b>	<b>-106</b>

Ponieważ obecne normy pozwalające na wykorzystywanie komór GTEM dopuszczają do badań tylko małe urządzenia zasilane bateryjnie, stąd wyżej przedstawione pomiary należy traktować jako badanie uzupełniające przy badaniach inżynierskich i nie może ono być podstawą przy badaniach dopuszczających zgodnych z omawianą normą.

#### 7.4.3.4 Tryby pracy

Norma określa trzy tryby pracy przy nadawaniu: pojedyncza antena, wiele anten bez formowania wiązki kierunkowej, wiele anten z formowaniem wiązki kierunkowej. Badaniu podlega kierunek maksymalnego promieniowania.

W przypadku istnienia dodatkowego zysku związanego z kierunkowymi własnościami anteny/anten należy go uwzględnić przy interpretacji wyników pomiarów.

#### 7.4.3.5 Wymagania dotyczące testowej modulacji

W przypadku niemożności nadawania w sposób ciągły, należy zapewnić regularność transmisji przerywanej.

W przypadku zdolności urządzenia do nadawania z różnymi typami modulacji, należy wybrać typ generujący największe zaburzenia.

#### 7.4.4 Komunikacja z TVWSDB

W trakcie badań urządzenia powinny mieć zapewnione przewodowe połączenie z TVWSDB lub jego testowym odpowiednikiem.

W trakcie omawianych badań funkcję testową TVWSDB pełnił komputer stacjonarny z oprogramowaniem NI LabVIEW służącym do sterowania urządzeniem USRP poprzez kabel typu „skrętka”.

#### 7.4.5 Parametry pracy

Parametry pracy urządzeń powinny być ustawione na wartości maksymalne i nie powinny one przekraczać wartości maksymalnych deklarowanych przez producenta. Dotyczy to blokowej gęstości widmowej EIRP w odniesieniu do pasma 100 kHz i 8 MHz, szerokości kanałów, stabilności w czasie i przestrzeni.

Producent NI USRP dopuścił zakres zmian od 0 dB do 30 dB dla wzmocnienia wyjściowego nadajnika. Maksymalna moc zmierzona na wyjściu antenowym zgodnie wyniosła ~10 dBm/8 MHz i przy takim ustawieniu dokonywano pomiarów w trybie nadawania.

#### 7.4.6 Interpretacja wyników badań

Wyniki pomiarów decydują o zgodności z wymaganiami omawianej normy.

Raport z pomiarów powinien zawierać niepewności pomiarowe związane ze wszystkimi pomiarami i powinny one być mniejsze lub równe z przedstawionymi niżej.

Tabela 8.

Parametr	Niepewność
Częstotliwość nadawania (RF)	$\pm 1 \times 10^{-7}$
Moc emisji przewodzona (RF)	$\pm 1,5$ dB
Moc emisji promieniowana (RF)	$\pm 6$ dB
Emisja zaburzeń przewodzona	$\pm 3$ dB
Emisja zaburzeń promieniowana	$\pm 6$ dB
Wilgotność	$\pm 5$ %
Temperatura	$\pm 1$ °C
Czas	$\pm 5$ %

Zdolność pomiarowa działającego w Z-21 Laboratorium Badań EMC pozwala na spełnienie tych wymagań.

#### **7.4.7 Miejsce i warunki pomiarów**

W p. 5.3.1 omawianej normy wymienione są w podpunktach od *a* do *w* parametry dotyczące urządzenia i sposobu jego pracy, które muszą być ustalone przez dostawcę badanego urządzenia. Informacje te służą zapewnieniu jednoznaczności uzyskanych wyników badań i pomiarów. Muszą one znaleźć się w raporcie z badań jako jego integralna część.

Ponieważ wykonane w ramach pracy badania nie miały charakteru badań dopuszczających, ale miały za zadanie sprawdzenie ich wykonalności, stąd nie wykonano formalnego raportu z przebiegu badań.

#### **7.4.8 Pozostałe ustalenia normy**

W dalszej części norma precyzyjnie określa:

- zasady ustalania i pomiaru mocy wyjściowej przewodzonej i promieniowanej dla sygnałów pożądaných, niepożądanych i wszelkich zaburzeń;
- zasady i metody posługiwania się w trakcie pomiarów analizatorem widma;
- konfigurację połączeń w trakcie pomiarów intermodulacji;
- zasady i metody badania zgodności z normą sposobu wymiany informacji między badanym urządzeniem i TVWSDB oraz zachowania urządzenia w przypadku utraty lub zakłóceń tego połączenia, włącznie ze sprawdzeniem limitów czasowych dla poszczególnych czynności;
- metodę badania zdolności urządzenia do określenia zmiany swojego położenia horyzontalnego względem położenia uzgodnionego z TVWSDB i zatrzymania transmisji w ciągu 60 sekund jeśli położenie zmieni się o wartość większą niż dopuszczoną przez TVWSDB.

We wszystkich badaniach musi być zachowana łączność pomiędzy urządzeniem zarządzającym (master) a urządzeniami zarządzanymi (slave). Dostęp do TVWSDB posiada tylko to pierwsze urządzenie (master), natomiast te drugie urządzenia (slave) informacje sterujące sposobem pracy otrzymują z urządzenia zarządzającego (master). Zakłócenie tej łączności powinno skutkować przerwaniem emisji z urządzeń zarządzanych (slave).

#### **7.4.9 Załączniki do normy**

Norma zawiera szereg załączników, których zawartość omówiono pokrótce poniżej.

Annex A specyfikuje w formie tabeli wymagania i warunki testowe.

Annex B określa: miejsca i sposób prowadzenia pomiarów emisji promieniowanej; anteny i sposób ich umieszczenia; sposób umieszczenia badanych urządzeń przy pomiarach emisji przewodzonej; zasady określania warunków środowiskowych; zasady doboru elementów służących mocowaniu urządzeń, kabli i urządzeń pomiarowych; zasady zasilania dla urządzeń zasilanych poprzez zasilacze i zasilanie bateryjne; zasady przygotowania odpowiedniego okablowania o kontrolowanym tłumieniu i współczynniku fali stojącej oraz zasadach ich uwzględnienia w budżecie niepewności pomiarowej; metody łączenia i

przewodzenia sygnałów pomiarowych w celu uniknięcia wpływu na wynik pomiarów wartości mierzonych i pogorszenia niepewności pomiarowej.

Annex C omawia zasady pomiarów emisji promieniowanej oraz zasady wykonywania pomiarów z wykorzystaniem elementów zastępczych.

Annex D – brak.

Annex E ma charakter informacyjny i wyjaśnia używane w normie pojęcia związane z nominalną szerokością pasma kanału i całkowitą szerokością pasma.

Annex F ma charakter informacyjny i stanowi propozycję formularza ułatwiającego uporządkowanie wymaganych informacji o badanym urządzeniu.

Annex G wymienia raporty ECC nr 159 i 185 będące podstawą do przygotowania omawianej normy.

## 7.5 Badany obiekt - uwagi

Urządzenie USRP jako w pełni programowalny nadajnik i odbiornik mogący pracować w zakresie 50 MHz do 2,2 GHz posiada pewne cechy, które sprawiają, że jednoznaczne określenie, czy emisje od urządzenia przekraczają poziomy dopuszczalne jest praktycznie niemożliwe, o ile nie wskażemy konkretnego oprogramowania, które steruje urządzeniem. Wynika to wprost z jego podstawowej własności, czyli programowalności. W zależności, czy urządzenie jest włączone, ale nie jest na nim uruchomiony żaden dodatkowy program w stosunku do oprogramowania systemowego, czy też jest uruchomiony jakiś konkretny program, ale tylko w jednym wybranym trybie pracy, mamy do czynienia z zupełnie różną emisją promieniowaną i przewodzoną. Jeśli urządzenie po załadowaniu innego programu zacznie pracować w trybie nadajnika lub jednocześnie w obu trybach, to obserwowane widmo emisji staje się niestabilne w czasie i zawiera produkty wąsko i szerokopasmowe na zmieniających się częstotliwościach.

Nawet uruchomienie programu zamieniającego USRP w prosty odbiornik FM powoduje rozpoczęcie emisji zaburzeń w całym obserwowanym paśmie 30 MHz do 1GHz.

W przypadku zastosowania oprogramowania wykorzystującego WS do transmisji danych, należało by wymusić na dostawcy urządzenia wykonanie pełnego wykazu zastosowanego oprogramowania wraz z sumami kontrolnymi dla każdego składnika oprogramowania mającego wpływ na działanie urządzenia. Dodatkowo dostawca powinien przedstawić wykaz parametrów zmiennych, które wpływają na pracę urządzenia z podaniem zakresów możliwych do zmiany przez użytkownika. Urządzenie powinno być tak skonstruowane, aby wprowadzenie oprogramowania lub parametrów do urządzenia powodujących zwiększenie emisji zaburzeń ponad dopuszczalne limity było technicznie niemożliwe dla „zwykłego” użytkownika.

Tylko tak przygotowane urządzenie TVWSD można poddać badaniom na zgodność z wymaganymi norm dotyczących WS.

## 7.6 Podsumowanie

W pracy przeanalizowano potencjalne problemy, które może stwarzać użytkowanie TVWSD, ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk nieliniowych występujących w TVWSD oraz niepożądanych zjawisk związanych z intermodulacjami pojawiającymi się na wejściach urządzeń odbiorczych cyfrowej telewizji naziemnej a związanych z działaniem blisko położonych TVWSD. Wykonano doświadczenia i pomiary pozwalające ocenić skalę zagrożenia dla użytkowników cyfrowej telewizji naziemnej korzystających z typowych odbiorników.

Przeanalizowano normę ETSI EN 301 598 v.1.1.1 (2014-04) pod kątem możliwości pomiarowych dostępnych w Laboratorium Badań EMC Z-21. Dokonano pomiarów mających ocenić, czy urządzenie z uruchomionym prostym oprogramowaniem do transmisji jednokierunkowej zawartości pliku tekstowego spełnia wymagania dotyczące emisji zaburzeń określonej w normie. Pomiary te wykazały, że dostępne egzemplarze NI USRP nie spełniają wymagań normy co najmniej w punkcie dotyczącym emisji zakłóceń poza pasmem cyfrowej telewizji naziemnej. Jednocześnie pomiary wykazały, że badania takie należy prowadzić, a także, że z ich wynikami należy zapoznawać nie tylko potencjalnych producentów i dostawców TVWSD ale również wybrane instytucje zajmujące się ochroną i gospodarką widmem elektromagnetycznym.

W trakcie pracy stwierdzono potrzebę przygotowania stanowisk badawczo-pomiarowych wraz z odpowiednimi procedurami umożliwiającymi sformalizowane przeprowadzanie badań na rzecz podmiotów komercyjnych i zainteresowanych instytucji. Może to być przedmiotem dalszych prac.

## 7.7 Literatura

[1] Dyrektywa 1999/5/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 9 marca 1999 r. w sprawie sprzętu radiowego i urządzeń terminali telekomunikacyjnych oraz wzajemnego uznawania ich zgodności

[2] Dyrektywa 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej i uchylająca dyrektywę 89/336/EWG

[3] ETSI EN 301 598 v1.1.1 White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems operating in the 470 MHz to 790 MHz TV broadcast band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

[4] PN-T-84713:2011, Kompatybilność elektromagnetyczna i zagadnienia widma radiowego (ERM) - Anteny aktywne stosowane przy odbiorze radiofonicznym i telewizyjnym w zakresie częstotliwości od 47 MHz do 860 MHz

## 8. Zakończenie

W wyniku realizacji pracy osiągnięto wszystkie cele założone przez zespoły w niej uczestniczące, rozwiązano kilka problemów badawczych. W pierwszej kolejności dokonana została ocena możliwości technicznych uruchomienia i reorganizacji kolejnych multipleksów telewizji naziemnej w Polsce w aspekcie utraty widma przeznaczonego dla telewizji cyfrowej na rzecz systemów radiokomunikacyjnych. Oszacowano przy tym liczbę multipleksów możliwych do wykorzystania w naszym kraju w dwóch przypadkach: wtedy, gdy nie zmieni się system telewizji cyfrowej (DVB-T, MPEG4) oraz wówczas, gdy system ten zostanie zastąpiony nowszym – DVB-T2.

W kolejnym etapie pracy określone zostały skutki reformy zarządzania widmem w radiokomunikacji morskiej w następstwie wprowadzania nowych i zmodernizowanych systemów morskiej radiokomunikacji ruchomej oraz morskiej satelitarnej radiokomunikacji ruchomej. W tym kontekście przedstawiono problemy rysujące się na najbliższej światowej konferencji radiokomunikacyjnej. W dalszym ciągu pracy zaprezentowano wyniki prowadzonych w ramach niniejszych analiz mających na celu ochronę systemów radionawigacji lotniczej ARNS w przypadku eksploatacji w paśmie 700 MHz systemów telewizji cyfrowej DVB-T i/lub systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej LTE. Dla założonych scenariuszy zakłóceń wspólnokanałowych określone zostały dopuszczalne poziomy zakłóceń oraz separacyjne pomiędzy nadajnikami DVB-T i nadajnikami LTE (zarówno stacji bazowej jak i terminala użytkownika) a stacjami odbiorczymi systemów radionawigacyjnych ARNS.

W przypadku szerokopasmowych systemów radiokomunikacyjnych (nie przesądając, jakiego rodzaju) na podstawie dostępnej literatury określono warianty obsadzenia pasma II dywidendy cyfrowej przez systemy LTE oraz szerokopasmowe systemy ochrony bezpieczeństwa publicznego i akcji prowadzonych w obliczu katastrof i klęsk żywiołowych. Zamieszczona w tekście niniejszego sprawozdania aranżacja częstotliwości w zakresie 694 – 790 MHz obejmująca systemy LTE oraz PPDR (opcja trzecia) wydaje się być docelową w Polsce poprzez uwzględnienie potrzeb organów ochrony bezpieczeństwa publicznego i reagowania w przypadku katastrof. W ostatniej części niniejszej pracy zajmowano się zagadnieniami związanymi z kompatybilnością elektromagnetyczną urządzeń radiowych pracujących w tzw. białych przestrzeniach widma częstotliwości radiowych. Przeanalizowano przykłady niepożądanych efektów wywołanych nieliniowością urządzeń nadawczych i odbiorczych oraz skutkami niedopasowania urządzeń. W

szczególności przeanalizowano poziomy zaburzeń harmonicznych generowanych przez urządzenia radiowe oraz poziomy intermodulacji, które mogą istotnie wpływać na transmisje sygnałów telewizyjnych oraz w szczególnych przypadkach na odbiór sygnałów w systemach radioastronomicznych (częstotliwość 1422 MHz). Wynikiem prac prowadzonych w tym kierunku są zmierzone poziomy zaburzeń harmonicznych oraz intermodulacji dla konkretnych sytuacji mających odzwierciedlenie w rzeczywistości, dla rejonu Wrocławia. Na tym tle przeanalizowano i następnie przedstawiono możliwości badawcze laboratorium badania kompatybilności elektromagnetycznej z Instytutu Łączności w zakresie: emisji pozapasmowych, emisji zaburzeń, emisji niepożądanych w paśmie DVB-T, badania produktów intermodulacji i innych związanych z urządzeniami radiowymi wykorzystywanymi do komunikacji w „białych przestrzeniach” widma w tym paśmie.

Reasumując, w trakcie niniejszej pracy starano się w głównej mierze przeanalizować problemy związane z problemami obsadzenia i eksploatacji widma częstotliwości radiowych w paśmie telewizyjnym oraz w paśmie II dywidendy radiowej przez systemy DVB-T, systemy IMT, systemy BB PPDR i urządzenia działające w „białych przestrzeniach” widma w zakresie telewizyjnym. Dodatkowo poruszono problemy związane z widmem przeznaczonym dla służb morskich ruchomych i ruchomych satelitarnych. Wszystkie kwestie poruszane w ramach niniejszej pracy mają związek z problemami które będą rozpatrywane podczas najbliższej Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej WRC-15



## Załącznik: Streszczenie referatu wygłoszonego na konferencji KKRRiT2014

Maciej J. Grzybkowski  
Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy  
Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej  
ul. Swojczycka 38, 51-501 Wrocław  
mag@il.wroc.pl



Warszawa, 11-13 czerwca 2014

### ESTYMACJA ZASOBÓW WIDMOWYCH DLA POTRZEB SYSTEMÓW IMT STRESZCZENIE

#### WSTĘP

Podczas obrad nadchodzącej Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej WRC-15 określony zostanie pewien zakres częstotliwości radiowych, wydzielony z górnej części dotychczasowego zakresu telewizyjnego (470 – 790 MHz) i przeznaczony głównie dla potrzeb radiokomunikacji ruchomej lądowej (RRL). Zakres ten nosi miano II Dywidendy Cyfrowej (dotyczy częstotliwości uwolnionych po wyłączeniu telewizji analogowej) i umieszczony będzie w paśmie 700 MHz. Na WRC-12 wyznaczono dla krajów Regionu I ITU, a więc i Polski, granice: dolną (wstępnie 694 MHz) i górną (790 MHz) tego zakresu – zarazem dolną granicę I Dywidendy.

Ze względu na to, że dolna granica zakresu II Dywidendy wyznaczona tylko wstępnie (rys. 1), obecnie

prowadzone są prace mające na celu określenie niezbędnych zasobów widmowych służących do zaspokojenia przyszłego popytu na usługi dostarczane za pomocą systemów RRL – głównie wchodzących w skład rodziny systemów IMT. Prace te, prowadzone są w aspekcie punktów 1.1 i 1.2 Agendy WRC-15 i mają prowadzić do ustalenia dolnej granicy zakresu.

W tym celu, w kilku dokumentach ITU przedstawiona została ogólna metodyka obliczania wymogów widmowych dla systemów RRL, a w szczególności dla systemów segmentu naziemnego IMT. Przy jej wykorzystaniu uwzględniany jest cały zespół czynników wpływających na rozmiary zasobów widmowych odpowiadających zapotrzebowaniu użytkowników i uwzględniających możliwości techniczne i uwarunkowania środowiskowe.

Pasma DVB-T		II Dywidenda Cyfrowa (DVB-T?/IMT?)	I Dywidenda Cyfrowa (IMT)		
KANAŁY	21-48?	KANAŁY 49-60?/FDD?/TDD?	6xFDD DL	luka duplexowa	6xFDD UL
470	694???	790	791	821 832	862 MHz

Rys. 1. Pasma telewizyjne oraz pasma I i II Dywidendy Cyfrowej

Każda z krajowych administracji łączności powinna wymagać od przyszłych operatorów uzasadnienia konkretnego popytu na częstotliwości radiowe. Uzasadnienie to, poparte wynikami estymacji niezbędnych zasobów widmowych do zapewnienia potrzeb przyszłych użytkowników systemów powinno być jednym z kryteriów ubiegania się o licencje na eksploatację widma, np. w przypadku II Dywidendy. Można wtedy będzie jednoznacznie wyznaczyć dolną granicę pasma II Dywidendy.

#### PARAMETRY NIEZBĘDNE DO OKREŚLENIA ZAPOTRZEBOWANIA NA WIDMO

Przed dokonaniem obliczeń zasobów widmowych niezbędnych do zaspokojenia potrzeb użytkowników systemów IMT należy przeprowadzić kilka operacji, takich jak: analiza popytu, wprowadzenie danych

rynkowych, obliczenia ruchu i jego dystrybucji oraz obliczenia wymagań na pojemność systemu.

Analizę popytu dokonuje się poprzez oszacowanie wpływu technicznych, konsumenckich i społecznych trendów popytu na przyszłe wykorzystanie widma. Kolejnym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę jest zbiór danych rynkowych. Do zbioru tego należą parametry: gęstość użytkowników, średni czas trwania sesji, średni czas oczekiwania na sesję, średnia szybkość transmisji danych oraz współczynnik mobilności.

W kolejnym etapie konieczne jest określenie kategorii usług KU (dane o różnych przepływnościach, oraz wolne, szybkie i bardzo szybkie multimedia) i związanych z nimi parametrów. Istotne są ponadto różne klasy ruchu telekomunikacyjnego, dla których wyznacza się jakość obsługi QoS. Dla ustalenia zapotrzebowania na widmo bardzo ważne są elementy środowiskowe,

takie jak środowisko usług SU, czy środowisko radiowe SR.

Ponieważ obecnie ten sam zakres częstotliwości może być współużytkowany przez systemy o różnych technikach radiowych, w dokumentach ITU dotyczących obliczeń widmowych wyróżnia się cztery grupy środków radiokomunikacyjnych, zwanyimi Grupami Dostępu do Technik Radiowych RATG. Dwie z nich związane są z systemami komórkowymi: pierwsza dotyczy systemów pre-IMT, IMT-2000 i jego rozwinięć; natomiast druga dotyczy systemów zaawansowanych Advanced IMT.

Podczas obliczeń ruchu powinny być określone parametry KU związane z zapewnieniem odpowiedniego QoS. Warunkują one odpowiednie pojemności systemów. Istotne są również parametry radiowe – główne (powierzchnia komórki, obszarowa efektywność widmowa, przepływność danych dla aplikacji, klasy mobilności) oraz pomocnicze (służące doprecyzowaniu obliczeń widmowych). Dodatkowymi parametrami istotnymi dla obliczeń widmowych są parametry ruchowe takie jak: zasięg ludnościowy oraz współczynniki dystrybucji ruchu radiowego dla różnych Grup Radiowych.

## OBLICZENIA WIDMOWE

Pełne zapotrzebowanie na widmo częstotliwości radiowych  $F$  zapewniające dostarczenie wszystkich usług oferowanych przez systemy IMT można wyrazić wzorami (1) lub (2) w zależności od tego, czy przewidywane jest (1), czy nie (2), elastyczne i neutralne technicznie zagospodarowanie widma:

$$F = M \cdot \sum_{rat \in (EGR)} F_z \quad (1)$$

gdzie:

M	współczynnik niedoskonałości elastycznego użytkowania widma (0,1]
$F_z$	zagregowane wymaganie na widmo dla Grupy RATG dla danej telegęstości i w danym czasie t
rat	indeks dla Grupy RATG (IMT-2000 lub IMT Advanced)
EGR	Grupy RATG umożliwiające elastyczne wykorzystanie widma

$$F_z = \max_t (F_z) \quad (2)$$

gdzie największa wartość  $F_z$  jest wzięta ze wszystkich przedziałów czasowych t.

Szerokość zagregowanego widma  $F_z$  zależna jest od liczby operatorów N oraz od szerokości odstepu ochronnego G pomiędzy cząstkami widma  $F_o$  przeznaczonymi dla różnych operatorów

$$F_z = F_o \cdot N + (N - 1) \cdot G \quad (3)$$

Cząstki widma  $F_o$  dla RATG1:

$$F_o = F_{omi} + F_{oma} + \max(F_{opi}, F_{ohs}) \quad (4)$$

natomiast dla RATG2, gdzie różne typy komórek użytkują widmo bardziej efektywnie:

$$F_o = \max(F_{omi} + F_{oma}) + \max(F_{opi}, F_{ohs}) \quad (5)$$

gdzie:

$F_{omi}$	widmo dla środowiska mikrokomórek
$F_{oma}$	widmo dla środowiska makrokomórek
$F_{opi}$	widmo dla środowiska pikokomórek

$F_{ohs}$  widmo dla środowiska typu hot-spoty.

Jeżeli założymy, że każdemu z operatorów musi być przydzielona choć minimalna porcja widma  $F_{omin}$  a granulacja widma będzie wynosić  $F_g$ , wówczas

$$F_o = F_{omin} \quad \text{jeżeli } 0 < F_o \leq F_{omin} \quad (6a)$$

$$F_o = F_{omin} + F_g \cdot \left\lceil \frac{(F_o - F_{omin})}{F_g} \right\rceil \quad \text{jeżeli } F_{omin} < F_o \quad (6b)$$

gdzie  $\lceil \cdot \rceil$  oznacza zaokrąglenie do najbliższej największej liczby całkowitej.

Szerokość widma  $F_{on}$  przeznaczona dla n-tego operatora zależna jest od wypadkowej pojemności systemu C oraz obszarowej efektywności widmowej  $E_s$ :

$$F_{on} = \frac{C}{E_s} \quad (7)$$

przy czym pojemność systemu C równa jest sumie pojemności liczonej w łączach DL i UL

$$C = C_{pUL} + C_{pDL} + C_{iUL} + C_{iDL} \quad (8)$$

gdzie:

$C_{pUL,DL}$	pojemność systemu z komutacją pakietów dla łączy „w górę” i „w dół”
$C_{iUL,DL}$	pojemność systemu z komutacją łączy dla łączy „w górę” i „w dół”

Obliczenie niezbędnej pojemności systemu jest potrzebne, aby określona RATG mogła obsłużyć oferowany ruch radiowy ze spełnionymi warunkami jakości usług QoS w każdej kategorii usługi, w każdym środowisku, o dowolnej telegęstości i dowolnej chwili czasu.

W przypadku obliczeń pojemności systemu z komutacją pakietów  $C_p$  parametrami wejściowymi są: (podstawowy) ruch oferowany  $R_{of}$  dla komórki w danym SU, średnia  $S_p$  i wariancja  $W_p$  rozkładu długości pakietu IP dla każdej KU, wymagane średnie opóźnienie D oraz priorytet każdej kategorii usług KU. Służą one do wyliczenia wypadkowego współczynnika oczekiwania pakietu IP,  $\lambda_n$ , dla komórki i dla określonej kategorii usług KU oraz zagregowanego współczynnika oczekiwania dla wszystkich KU. Złożone zależności matematyczne oparte na formule Cobhama uwzględniające średnie opóźnienie pakietu, zapewniając wymagane QoS, pozwalają na wyznaczenie pojemności  $C_p$  w zależności (8).

Przy obliczeniach pojemności systemu z komutacją łączy  $C_l$ , parametrami wejściowymi są: oferowany ruch w Erlangach w komórce (lub sektorze komórki)  $R_{of}$ , szybkość transmisji danych w kanale usługowym dla określonej KU,  $r$ , oraz maksymalne dopuszczalne prawdopodobieństwo blokowania  $B_p$ . Obliczenia są tu również skomplikowane a ich algorytm bardzo złożony. Pojemność systemu jest uzyskiwana poprzez mnożenie wymaganej całkowitej liczby kanałów przez przepływność kanałową po uwzględnieniu prawdopodobieństwa blokowania dla każdej KU.

Obliczenia oferowanego ruchu są wymagane zarówno przy obliczaniu pojemności systemu z komutacją pakietów jak i komutacją łączy. W obu

przypadkach obliczeń wykorzystywany jest wskaźnik sesji przychodzącej na obszarze, który z kolei określany jest dla każdej KU, każdego SU, każdej RATG itd. Szereg zależności do wyznaczenia dystrybucji ruchu pomiędzy techniki dostępu radiowego i środowiska radiowe wewnątrz każdej RATG jest podanych w dokumentach ITU. Wyszczególnione są tam również (stabelaryzowane) przykładowe parametry radiowe dla Grup RATG oraz atrybuty ruchu dla poszczególnych kategorii usług.

Dzięki temu można dokonać dość precyzyjnych obliczeń zasobów widmowych niezbędnych do zapewnienia usług użytkownikom systemów IMT.

### **PODSUMOWANIE**

Wyznaczenie dolnej granicy pasma II Dywidendy dla każdego kraju jest bardzo ważne, gdyż ustalony będzie wtedy ostateczny zasób częstotliwości przeznaczony głównie dla potrzeb telewizji cyfrowej, co w efekcie umożliwi określenie liczby możliwych obecnie do użycia multipleksów. W Polsce wiązać się to będzie z koniecznością ograniczenia liczby planowanych multipleksów a więc z koniecznością przeplanowania obecnych. W tym celu należy dokonać estymacji widma niezbędnego dla potrzeb II Dywidendy.

