

Warunki kompatybilności systemów IMT 4G/5G z telewizją naziemną DVB-T/T2 w paśmie 700 MHz

Streszczenie. Pasma 700 MHz obecnie jest zwalniane we wszystkich krajach Unii Europejskiej przez telewizję naziemną na potrzeby systemów 4G/5G IMT (International Mobile Telecommunications), jednak przeznaczenia i przydziały częstotliwości dla telewizji naziemnej DVB-T/T2 w tym paśmie pozostają nadal ważne w krajach sąsiednich, nienależących do UE (np. Rosja, Ukraina) gdzie nadal występują tego typu emisje, które mogą zakłócać systemy IMT planowane do uruchomienia np. w Polsce. W referacie przedstawiono podstawowe problemy zakłóceń między systemami IMT i DVB-T/T2 oraz uzyskane kryteria zachowania kompatybilności między systemami a także dopuszczalne natężenia pola sygnałów zakłócających i wyznaczone na tej podstawie odległości zakłóceniu i wymaganą separację geograficzną.

Abstract. The 700 MHz band is currently being released in all European Union countries by terrestrial television for the purposes of 4G / 5G IMT (International Mobile Telecommunications) systems, but the frequency allocation and frequency assignments for DVB-T / T2 terrestrial television in that band are still valid in non-EU neighboring countries (eg Russia, Ukraine) where such emissions may still occur, and which may disrupt the IMT systems planned to be launched, eg in Poland. The paper presents the basic problems of interferences between IMT and DVB-T / T2 systems and the criteria for maintaining compatibility between the systems, as well as the permissible field strength of interfering signals and calculated the separation distances resulting with the required geographical separation. (**Compatibility conditions for IMT 4G/5G systems with DVB-T/T2 terrestrial television in the 700 MHz band**)

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, zakłócenia interferencyjne, DVB-T/T2, IMT, 5G.

Keywords: electromagnetic compatibility, interference, DVB-T/T2, IMT, 5G.

Wstęp

W związku z coraz intensywniejszym wykorzystywaniem widma radiowego obecnie coraz częściej mamy do czynienia z jego współużytkowaniem przez różne służby radiowe czyli z wykorzystywaniem tej samej części widma radiowego do różnego typu łączności, w różnych służbach radiowych, w tych samych lub sąsiednich obszarach geograficznych. Problem ten jest szczególnie istotny w odniesieniu do niskich zakresów częstotliwości (tj. <1 GHz) gdzie dany system odznacza się zarówno bardzo dużym zasięgiem użytkowym jak i zakłóceniuowym ze względu na wyjątkowo dobre warunki propagacyjne. Podczas konferencji radiokomunikacyjnej Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego ITU WRC12 w 2012 roku [1] po raz pierwszy w Europie dokonano alokacji pasma 700 MHz (694-790 MHz), wykorzystywanego zasadniczo na całym świecie wcześniej niemal wyłącznie do celów radiodifuzji także do celów wspólnego wykorzystywania na zasadzie pierwszej ważności również przez systemy radiokomunikacji mobilnej z przeznaczeniem dla systemów 4 i 5 generacji (nazywanych w nomenklaturze ITU jako IMT – International Mobile Telecommunications). W następstwie decyzji WRC12 opracowano i wdrożono Decyzję Komisji Europejskiej (Decyzja KE. 2016/687 z dnia 28 kwietnia 2016 r.) w sprawie harmonizacji pasma 700 MHz oraz Decyzję Parlamentu i Rady (European Commission. 2016. COM/2016/043 final [2]) nakazującą wszystkim krajom UE przeznaczenie pasma 700 MHz na potrzeby systemów mobilnych IMT do dnia 30.06.2020 roku (z możliwością ewentualnej derogacji o 2 lata). Co znamienne, podczas konferencji WRC12 dokonano przeznaczenia pasma 700 MHz na zasadzie współużytkowania z telewizją nie posiadając jeszcze stosownych badań i wyników analiz kompatybilności, zakładając, że analizy takie wskażą później dopuszczalne warunki takiego współużytkowania. Takie podejście regulacyjne było ewenementem w ITU, gdyż zasadniczo przeznaczenia pasm podczas konferencji WRC dokonuje się dopiero po opracowaniu szczegółowych zasad kompatybilności elektromagnetycznej mając na względzie także wszelkie konsekwencje z tym związane. Ponieważ badań takich na świecie było i jest stosunkowo mało i w większości bazowały na analizach teoretycznych,

w niniejszej pracy przedstawiono wyniki praktycznych pomiarów przeprowadzonych w Instytucie Łączności – PIB zrealizowane na rzecz Ministerstwa Cyfryzacji oraz wyniki uzyskanych analiz bazujące na parametrach uzyskanych na podstawie tych pomiarów. Wyniki te zostały przekazane stosownym urzędowi krajowym zajmującym się problemami użytkowania widma radiowego (Ministerstwo Cyfryzacji, Urząd Komunikacji Elektronicznej) w celu ich wykorzystania np. do celu koordynacji międzynarodowej. W Polsce trwają obecnie przygotowania do przekazania pasma 700 MHz dla sieci IMT, jednak do chwili obecnej (marzec 2024r.) nie zostały opublikowane ani zasady jego przydziału ani nie ustalono kiedy w paśmie tym będą mogły pojawić się pierwsze stacje IMT.

Można wskazać różne publikacje i dokumenty międzynarodowe, które analizują i badają problem współużytkowania widma radiowego pasma 700 MHz przez telewizję i systemy ruchome IMT: Po pierwsze zalecenie ITU-R BT. 1368-13 [3], raport ITU-R BT.2215-7 [4], raport Studies on the Compatibility between LTE and DVB-T Systems in Co- and Adjacent-Channel Configuration [5], sprawozdanie ECC 148 [6], zalecenie ITU-R M.2090-0 [7], raport ITU-R M,2292-0 [8], raport CEPT 53[9], raport CEPT 60[10], normy ETSI TS 136 104 v14.5.0 [11], ETSI TS 136 101 v14.4.0[12], decyzja ECC (15)01 [13], raport 3GPP TR 36.942[14], Porozumienie HCM Agreement [15], raport 3GPP TR 36.820 [16].

Zalecenie ITU-R BT. 1368-13 [3] określa współczynniki ochronne dla odbiorników DVB-T pracujących w zakresie 470 – 862 MHz, w odniesieniu do pozapasmowych zakłóceń powodowanych przez nadajniki LTE z zakresu 759 – 862 MHz przy założeniu bloków częstotliwości o szerokości 10 MHz. Zgodnie z metodyką pomiarów współczynników ochronnych dla telewizji określoną w raporcie ITU-R BT.2215-6 [4] zakłócenia te odniesiono w stosunku do odbiorników telewizyjnych z klasycznymi superheterodynowymi tunerami (z dyskretnymi elementami zamkniętymi w metalowych obudowach tzw. typu „puszka” ang. „can”) oraz z tunerami o elementach scalonych (tzw. typu „krzem” ang. „silicon”) a wartości współczynników ochronnych stosownie uśredniono.

W sprawozdaniu ECC [6] określone są natomiast współczynniki ochronne odbiorników DVB-T (sygnał 64-QAM 2/3, w kanale gaussowskim, dla tunerów set top box – STB (tzw. przystawkach do telewizora) oraz dla zintegrowanych odbiorników telewizji cyfrowej – iDTV, bądź też w urządzeniach USB podłączanych do komputera narażonych na zakłócenia ze strony nadajników LTE (o ustalonej średniej mocy), lecz w zakresie 790 – 862 MHz, a więc w paśmie 800 MHz.

Zalecenie ITU-R M.2090 [7] podaje dopuszczalne wartości niepożądanych mocy w zakresie przeznaczonym dla DVB-T (470-694 MHz), które są emitowane przez nadajniki ruchomych stacji IMT, czyli również LTE i 5G, w blokach większych i mniejszych od 10 MHz, działających w zakresie 703-733 MHz.

Natomiast w Zaleceniu ITU-R M.2292 [8] wyrażone są maksymalne wartości mocy wyjściowej nadajnika stacji bazowej, zastępcza moc promieniowana w sektorze obsługi tej stacji, średnia zastępcza moc promieniowana, biorąc pod uwagę współczynnik aktywności stacji oraz maksymalną moc wyjściową terminala użytkownika, a także średnie moce wyjściowe terminali użytkownika dla różnych scenariuszy działania systemu.

Sprawozdania CEPT do Komisji Europejskiej, powstałe na zlecenie KE [9] [10], określają dopuszczalne moce stacji bazowych LTE oraz terminali użytkownika w różnych podzakresach częstotliwości. Identyczne parametry nadajników LTE podane są w dokumentach ETSI [11] [12] oraz w Decyzji ECC (15)01 [13]. W sprawozdaniach [11] [12] oraz w sprawozdaniu 3GPP [14] podane są również czułości odbiorników terminali użytkownika LTE w różnych zakresach częstotliwości.

Podczas prowadzonych koordynacji transgranicznych stacji systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej (RRL) stosowane są założenia sformułowane w tzw. Porozumieniu HCM [15], czyli porozumieniu pomiędzy administracjami 17 krajów europejskich dotyczącym ujednoczenia metod obliczeń koordynacyjnych. W Porozumieniu [15] zostały ustalone wartości natężenia pola sygnałów zakłócających, które nie powinny być przekraczane na granicy, a w szczególnych przypadkach wewnątrz terytorium zainteresowanego kraju. Wartości te uzależnione są od rodzaju systemu radiokomunikacyjnego, jaki pozostaje w użytkowaniu oraz od częstotliwości. W przypadku systemów RRL pracujących w paśmie 700 MHz (a więc również systemów LTE/5G) maksymalna dopuszczalna wartość natężenia pola zakłóceń niewymagająca koordynacji stacji, określona jest na wysokości 10 m ponad poziomem terenu na linii granicy pomiędzy dwoma państwami.

Istniejące dokumenty zawierają głównie kryteria kompatybilności jako tzw. współczynniki ochronne określone teoretycznie jak i wynikające z przeprowadzonych pomiarów wykonanych w przypadku odbiorników DVB-T zakłócanych przez LTE w zakresie 759 – 862 MHz – czyli w paśmie 800 MHz – zakres tzw. pierwszej dywidendy cyfrowej. We wskazanych dostępnych dokumentach brak jest również odpowiednich współczynników ochronnych dla odbiorników systemu IMT, które mogłyby być zakłócone przez nadajniki DVB-T/T2.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono zrealizowane pomiary współczynników ochronnych, opracowane dopuszczalne wartości współkanałowego natężenia pola zakłócającego dla przypadku zakłócenia telewizji naziemnej DVB-T/T2 przez stacje bazowe IMT oraz dla przypadków zakłócenia terminali i stacji bazowych IMT przez systemy telewizji naziemnej DVB-T/T2 a także obliczone wartości wymaganych separacji geograficznych dla typowych konfiguracji stacji IMT i DVB-T/T2.

Wyniki podane w niniejszej publikacji mogą służyć do realizacji procedur uzgodnień międzynarodowych z krajami sąsiadującymi z UE jak również mogą posłużyć do ustalenia warunków planowania przyszłych sieci 4G i 5G w paśmie 700 MHz w Polsce biorąc pod uwagę problem zakłóceń od sieci telewizyjnych pracujących w paśmie 700 MHz poza granicami naszego kraju.

Pomiary kompatybilności DVB-T/T2 z IMT w paśmie 700 MHz

W celu ustalenia zasad współużytkowania widma przez systemy telewizyjne i systemy IMT 4G/5G konieczne jest ustalenie kryteriów kompatybilności – czyli wymaganych wartości współczynników ochronnych (and. protection ratio) definiujących różnicę (w dB) pomiędzy sygnałem użytkowym a zakłócającym, która zapewni poprawną pracę systemu zakłócanego. Ze względu na dwa rodzaje możliwych zakłóceń mogą to być współczynniki ochronne dla systemów telewizji zakłócanych transmisją IMT lub też dla systemów IMT zakłócanych przez telewizję naziemną.

W celu uzyskania na drodze eksperymentalnej odpowiednich wartości wymaganych współczynników ochronnych stanowiących podstawowe kryteria kompatybilności elektromagnetycznej wykonano szereg pomiarów przy użyciu odpowiedniego sprzętu testowego – generatorów i odbiorników oraz rzeczywistej stacji bazowej i terminala pracujących w paśmie 700 MHz. Pomiary wykonano z udziałem pracowników i w laboratoriach firmy Nokia, w środowisku izolowanym, ze względu na konieczną integrację stacji bazowej z oprogramowaniem i szkieletem sieciowym laboratorium sieci mobilnej podczas realizacji transmisji w warunkach zakłóceń zewnętrznych.



Rys.1. R&S@ETC Compact TV Analyzer [model 2116.500K08] nr ser. 101235-XU – odbiornik sygnału telewizyjnego DVB-T/T2



Rys.2. R&S@SFE Broadcast Tester [model 2112.4300.02] nr ser. 100113 – nadajnik sygnału telewizyjnego DVB-T/T2

Środowisko testowe i warunki pomiarów

Pomiary wykonano w siedzibie firmy Nokia we Wrocławiu w izolowanym od zakłóceń zewnętrznych laboratorium ze skonfigurowaną siecią IMT składającą się ze stacji bazowej oraz podłączonych do niej terminali. Do

wykonania pomiarów wykorzystano także przyrządy firmy Rohde & Schwarz będące na wyposażeniu Instytutu Łączności - PIB:

- Kompaktowy analizator sygnału telewizyjnego z funkcją analizatora widma (Rys. 1).

- Generator testowego sygnału telewizyjnego (Rys. 2)

- dodatkowo posłużono się tłumikiem regulowanym TRP 0 – 100 dB f-my INCO, nr ser 0016/87.

Firma Nokia ze swojej strony udostępniła swoje laboratorium we Wrocławiu i przygotowała stanowisko pomiarowe zawierające niezbędne do badań elementy systemu IMT, w tym stację bazową oraz terminal.

Pomiary zakłóceń do DVB-T/T2 wykonywano zgodnie z zasadami opisanymi w raporcie ITU-R BT.2215 „Measurements of protection ratios and overload thresholds for broadcast TV receivers” [4].

Jako najgorszy przypadek w trakcie pomiarów przyjęto każdorazowo pełne wypełnienie sygnału IMT (100%) w obu kierunkach zakłóceń (od IMT do DVB-T/T2 oraz od DVB-T/T2 do IMT).



Rys.3. Skonfigurowane stanowisko pomiarowe w laboratoriach Nokii.

Wykonano dwie grupy badań współczynników ochronnych:

- zakłócenia do DVB-T i DVB-T2 – w sytuacji gdy sygnał zakłócający pochodzi od IMT,
- do IMT – w sytuacji gdy sygnałem zakłócającym jest DVB-T i DVB-T2.

Na potrzeby badań zostały przyjęte następujące parametry dotyczące układu pomiarowego udostępnionego przez wrocławski oddział firmy Nokii:

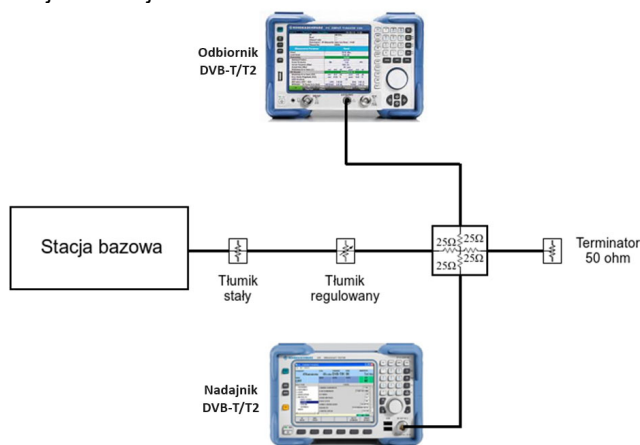
- Czułość odbiornika stacji bazowej IMT: -110 dBm
- Jako terminal użyte zostało urządzenie Qualcomm MTP9630, z pojedynczym torem odbiorczym w pasmie B12 (700 MHz o czułości minimalnej na poziomie wymagań 3GPP

- Emulator toru radiowego pomiędzy stacją bazową a terminalem zawierał jeden tłumik stały 30 dB, 2 tłumiki regulowane 0-60 dB, splitter o tłumieniu 10 dB oraz kable. Poziom tłumienia został ustawiony tak, aby terminal odbierał sygnał na poziomie mocy sygnału odebranego równej -115 dBm. Był to taki poziom, przy którym terminal jeszcze pracował stabilnie i potrafił się bez problemu logować. Moc nadawcza stacji IMT została ustawiona na poziomie 39 dBm – moc ta była stała. Poziom sygnału zakłócanego był regulowany tłumikami.

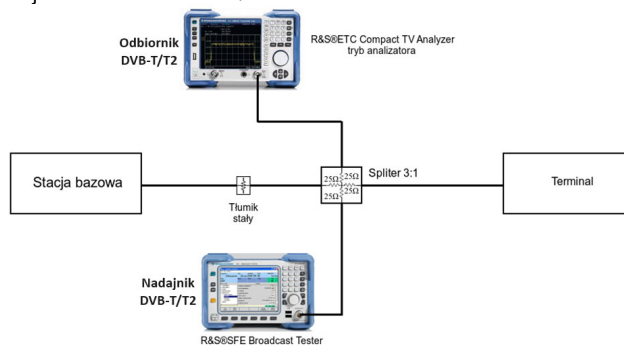
- Podczas badania wpływu emisji stacji bazowej IMT na odbiornik DVB-T stacja bazowa wysyłała symulowany ruch, z regulowanym wypełnieniem i określoną modulacją wymaganą dla obsłużenia tej przepływności.

- Podczas testów w kierunku do stacji bazowej (uplink) brak było możliwości narzucenia z góry z jaką modulacją i z jakim wypełnieniem pasma nadawać będzie terminal IMT. W tak skonfigurowanych warunkach radiowych, przy jednym terminalu i przy maksymalnym wymuszeniu ruchem (full buffer – zawsze pełen bufor do

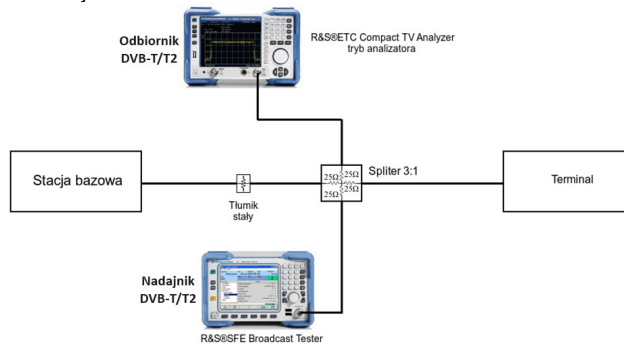
wysłania) można było mieć pewność, że terminal zajmuje całe pasmo – co zostało potwierdzone w logach tworzonych automatycznie w trakcie transmisji, natomiast warunki pracy terminala były definiowane przez możliwości odbiorcze stacji bazowej.



Rys. 4. Układ pomiarowy do badania wpływu emisji stacji bazowej na jakość odbioru DVB-T/T2



Rys. 5. Układ pomiarowy do badania wpływu emisji stacji DVB-T/T2 na jakość odbioru terminala IMT



Rys. 6. Układ pomiarowy do badania wpływu emisji stacji DVB-T/T2 na jakość odbioru stacji bazowej IMT

- Wymagane warunki radiowe najgorszego przypadku powodowały, że terminal zawsze pracował z pełną mocą (23 dBm). Oznaczało to, że w warunkach pojawienia się interferencji i pogorszenia stosunku sygnał zakłócenie (SINR), terminal mógł to skompensować jedynie poprzez zmniejszenie parametru MCS (schemat kodowania i modulacji – Modulation and Coding Scheme), czyli będzie zmniejszał nadmiarowość kodu i/lub zmieniał modulację.

- W kierunku w górę (uplink) działała niewyłączalna funkcja regulacji mocy, oznacza to, że nie była ustalona stała moc nadawcza terminala, ponieważ zależała ona od aktualnych warunków. Ustalono natomiast oczekiwany poziom sygnału odbieranego przez stację bazową – stacja porównując moc odebraną do mocy oczekiwanej wysyła do terminala komendy korekty mocy nadawczej w górę lub w dół tak aby zapewnić właściwy poziom sygnału odbieranego. W przypadku pomiarów ustawiono poziom

sygnału oczekiwanego przez stację bazową na -100 dBm i taka moc rzeczywiście była odbierana (w szczegółowych logach zarejestrowano zakres od -99 do -101 dBm). Tak jak powiedziano wyżej, warunki radiowe były stosunkowo trudne, co powodowało, że zasadniczo terminal nadawał z mocą maksymalną.

• Do wyznaczenia wpływu sygnału DVB-T/T2 na transmisję IMT zastosowano kryterium oceny, przy którym uznaje się, że transmisja DVB-T/T2 zakłócała transmisję IMT przy następujących założeniach:

1. Dla pomiaru wpływu DVB-T/T2 na odbiornik IMT (zakłócany kierunek: downlink IMT) przyjęto spadek używanego schematu kodu (MCS) o dwie wartości. Wiązał się z tym jednocześnie spadek SINR o 2dB i spadek przepływności o ok. 15%.

2. Dla pomiaru wpływu nadajnika DVB-T/T2 na odbiornik stacji bazowej IMT) przyjęto spadek osiągniętej przepływności (mierzonej na warstwie UDP) o ok. 15%. Analiza logów stacji bazowej wykazała, że jest to jednocześnie spadek używanego schematu kodu (MCS) także o dwie wartości i spadek mierzonego SINR o 3dB.

3. Mimo, że mierzono schemat kodowania i przepływność, to obie metody prowadzą do tego samego wyniku – zakłócenie powoduje spadek schematu kodowania o 2 wartości, co daje określone konsekwencje dla SINR i przepływności.

4. Wartości graniczne przyjęte jako dopuszczalne są arbitralne, gdyż nie ma jednoznacznego standardu określającego od jakiego poziomu degradacji połączenia jest „złe”. Przyjęto, że jest to maksymalny dopuszczalny najgorszy przypadek. W praktyce stwierdzono, że spadki przepływności są mniejsze, ponieważ rzadko pojawia się tak duże obciążenie sieci, a dodatkowo system nadzorujący sieć posiada dodatkowe funkcjonalności pozwalające na unikanie interferencji z obcymi sygnałami.

Na Rys. 4, 5 i 6 przedstawiono zastosowane schematy układów pomiarowych.

Wyniki pomiarów

W Tabelach 1 i 2 przedstawiono uzyskane wyniki zmierzonych współczynników ochronnych dla zakłóceń do telewizji DVB-T i DVB-T2 odpowiednio dla zakłóceń od transmisji IMT o szerokości kanału 10 MHz i 5 MHz.

Tabela 1. Wyniki pomiarów współczynników ochronnych dla zakłóceń od IMT do telewizji w kanale IMT 10 MHz

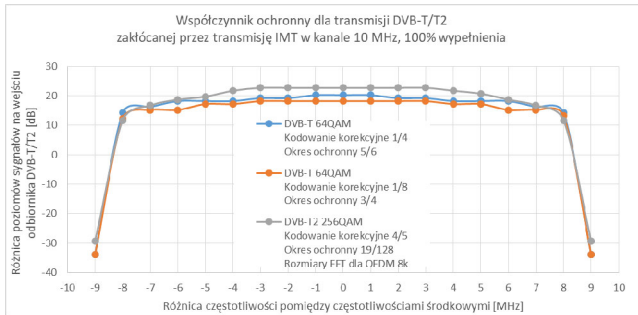
Lp.	Różnica częstotliwości pomiędzy częstotliwościami F kanału TV - F kanału IMT Stały kanał IMT: 778 MHz ÷ 788 MHz	Współczynnik ochronny dla transmisji DVB-T/T2 zakłócanej przez transmisję IMT w kanale 10 MHz, 100% wypełnienia		
		DVB-T 64QAM Kodowanie korekcyjne 1/4 Okres ochronny 5/6	DVB-T 64QAM Kodowanie korekcyjne 1/8 Okres ochronny 3/4	DVB-T2 256QAM Kodowanie korekcyjne 4/5 Okres ochronny 19/128 FFT 8k
	[MHz]	[dB]	[dB]	[dB]
1	-9	-33,8	-33,8	-29,3
2	-8	14,2	12,2	11,7
3	-7	16,2	15,2	16,7
4	-6	18,2	15,2	18,7
5	-5	18,2	17,2	19,7
6	-4	18,2	17,2	21,7
7	-3	19,2	18,2	22,7
8	-2	19,2	18,2	22,7

Lp.	Różnica częstotliwości pomiędzy częstotliwościami F kanału TV - F kanału IMT Stały kanał IMT: 778 MHz ÷ 788 MHz	Współczynnik ochronny dla transmisji DVB-T/T2 zakłócanej przez transmisję IMT w kanale 10 MHz, 100% wypełnienia		
		DVB-T 64QAM Kodowanie korekcyjne 1/4 Okres ochronny 5/6	DVB-T 64QAM Kodowanie korekcyjne 1/8 Okres ochronny 3/4	DVB-T2 256QAM Kodowanie korekcyjne 4/5 Okres ochronny 19/128 FFT 8k
	[MHz]	[dB]	[dB]	[dB]
9	-1	20,2	18,2	22,7
10	0	20,2	18,2	22,7
11	1	20,2	18,2	22,7
12	2	19,2	18,2	22,7
13	3	19,2	18,2	22,7
14	4	18,2	17,2	21,7
15	5	18,2	17,2	20,7
16	6	18,2	15,2	18,7
17	7	16,2	15,2	16,7
18	8	14,2	13,2	11,7
19	9	-33,8	-33,8	-29,3

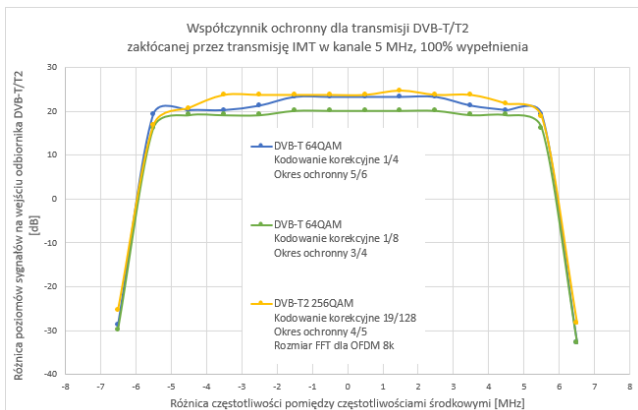
Tabela 2. Wyniki pomiarów współczynników ochronnych dla zakłóceń od IMT do telewizji w kanale IMT 5 MHz

Lp.	Różnica częstotliwości pomiędzy częstotliwościami środkowymi F kanału TV - F kanału IMT Stały kanał IMT: 773 MHz ÷ 778 MHz	Współczynnik ochronny dla transmisji DVB-T/T2 zakłócanej przez transmisję IMT w kanale 5 MHz, 100% wypełnienia		
		DVB-T 64QAM Kodowanie korekcyjne 1/4 Okres ochronny 5/6	DVB-T 64QAM Kodowanie korekcyjne 1/8 Okres ochronny 3/4	DVB-T2 256QAM Kodowanie korekcyjne 4/5 Okres ochronny 19/128 FFT 8k
	[MHz]	[dB]	[dB]	[dB]
1	-6,5	-28,8	-29,8	-25,3
2	-5,5	19,2	16,2	16,7
3	-4,5	20,2	19,2	20,7
4	-3,5	20,2	19,2	23,7
5	-2,5	21,2	19,2	23,7
6	-1,5	23,2	20,2	23,7
7	-0,5	23,2	20,2	23,7
8	0,5	23,2	20,2	23,7
9	1,5	23,2	20,2	24,7
10	2,5	23,2	20,2	23,7
11	3,5	21,2	19,2	23,7
12	4,5	20,2	19,2	21,7
13	5,5	19,2	16,2	18,7
14	6,5	-32,8	-32,8	-28,3
15	5	18,2	17,2	20,7
16	6	18,2	15,2	18,7
17	7	16,2	15,2	16,7
18	8	14,2	13,2	11,7
19	9	-33,8	-33,8	-29,3

Na Rys. 7 i 8 stabelaryzowane wyniki przedstawiono w formie wykresów.



Rys. 7. Współczynnik ochronny dla transmisji DVB-T/T2 zakłóconej przez transmisję IMT w kanale 10 MHz



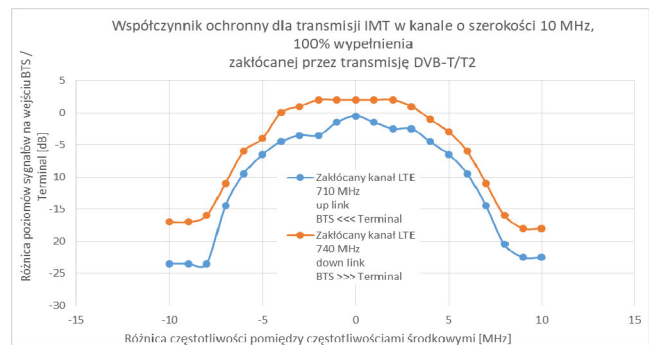
Rys. 8. Współczynnik ochronny dla transmisji DVB-T/T2 zakłóconej przez transmisję IMT w kanale 5 MHz

W Tabeli 3 przedstawiono zmierzone wartości współczynnika ochronnego dla transmisji IMT w kanale o szerokości 10 MHz zakłóconej przez transmisję DVB-T/T2 a wykres tych wyników podano na Rys. 9.

Tabela 3. Wyniki pomiarów współczynników ochronnych dla zakłóceń od telewizji do IMT w kanale o szerokości 10 MHz

Lp.	Różnica częstotliwości pomiędzy częstotliwościami środkowymi F kanału DVB-T/T2 - F kanału IMT DVB-T/T2: zmieniana częstotliwość IMT: 710 MHz lub 740 MHz	Współczynnik ochronny PR Transmisja DVB-T/T2 zakłóca transmisję IMT w kanale B12 o szerokości 10 MHz, 100% wypełnienia	
		Zakłócony kanał IMT 710 MHz up link BTS <<< Terminal	Zakłócony kanał IMT 740 MHz down link BTS >>> Terminal
	[MHz]	[dB]	[dB]
1	10	-22,5	-18
2	9	-22,5	-18
3	8	-20,5	-16
4	7	-14,5	-11
5	6	-9,5	-6
6	5	-6,5	-3
7	4	-4,5	-1
8	3	-2,5	1
9	2	-2,5	2
10	1	-1,5	2
11	0	-0,5	2
12	-1	-1,5	2
13	-2	-3,5	2
14	-3	-3,5	1

Lp.	Różnica częstotliwości pomiędzy częstotliwościami środkowymi F kanału DVB-T/T2 - F kanału IMT DVB-T/T2: zmieniana częstotliwość IMT: 710 MHz lub 740 MHz	Współczynnik ochronny PR Transmisja DVB-T/T2 zakłóca transmisję IMT w kanale B12 o szerokości 10 MHz, 100% wypełnienia	
		Zakłócony kanał IMT 710 MHz up link BTS <<< Terminal	Zakłócony kanał IMT 740 MHz down link BTS >>> Terminal
	[MHz]	[dB]	[dB]
15	-4	-4,5	0
16	-5	-6,5	-4
17	-6	-9,5	-6
18	-7	-14,5	-11
19	-8	-23,5	-16
20	-9	-23,5	-17
21	-10	-23,5	-17



Rys. 9. Współczynnik ochronny dla transmisji IMT w kanale o szerokości 10 MHz zakłóconej przez transmisję DVB-T/T2 (uplink i downlink)

Przeprowadzone pomiary zakłóceń systemu IMT dotyczyły sytuacji spadku dostępnej przepustowości łącza o 15%. Stacja BTS może pracować także poprawnie przy wyższych poziomach zakłóceń (co sprawdzono w trakcie pomiarów) jednak wówczas spadek dostępnej przepustowości jest większy co uznano jednak za przekroczenie poziomu dopuszczalnych zakłóceń.

Do dalszych analiz kompatybilności założono normatywne wartości czułości BTS, urządzenia w trakcie badań współczynników ochronnych miały lepszą czułość niż wymagane wg normy i pracowały w standardowych warunkach (sygnał ok. 10dB powyżej poziomu czułości - zgodnie z powszechną metodyką pomiarów współczynników ochronnych stosowaną w ITU-R).

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów współczynników ochronnych wykonano obliczenia dopuszczalnych poziomów sygnałów zakłócających oraz maksymalnych wymaganych odległości separacyjnych w przypadku zakłóceń do telewizji i do systemów IMT.

Dopuszczalne natężenia pól zakłócających

Dopuszczalne natężenie pola zakłócającego wynika z różnicy pomiędzy minimalnym sygnałem, który jest dopuszczalny dla danego typu transmisji użytkowej a współczynnikiem ochronnym dla tego zakłócenia:

$$(1) U = W - PR$$

Gdzie: U – dopuszczalne natężenie pola zakłóceń dB[μV/m], W – minimalny sygnał użytkowy dB[μV/m], PR –

współczynnik ochronny [dB]. Dla poszczególnych typów zakłóceń przedstawiono dalej wyniki obliczeń dopuszczalnego pola zakłóceńowego

Zakłócanie stacji bazowej IMT przez wspólnokanałowe stacje DVB-T/T2

Dopuszczalne wartości natężenia pola zakłócającego w miejscu odbioru-lokalizacji stacji bazowej IMT wyrażone w dB[μ V/m] (wyznaczone z wykorzystaniem parametrów normatywnych stacji bazowej $P_{min}=-101,5$ dBm (dla szerokości kanału 5 MHz i 10 MHz), oraz typowej anteny $G=14$ dBi o charakterystyce zgodnej z [17]) (nie stwierdzono istotnej różnicy względem wariantu systemu DVB-T/T2) przedstawiono w Tabeli 4.

Tabela 4. Dopuszczalna wartość natężenia pola zakłócającego w miejscu odbioru-lokalizacji stacji bazowej IMT

		System zakłócający DVB-T/T2
System zakłócający	IMT 700 5/10 MHz	19,7 dB[μ V/m]

Zakłócanie terminali IMT pracujących w trybie downlink przez stacje DVB-T/T2 (w kanałach TV 54-60)

Dopuszczalne wartości natężenia pola zakłócającego od DVB-T/T2 na granicy zasięgu komórki IMT (terminal UE o wartości normatywnej mocy minimalnej $P_{min}=-97$ dBm (5MHz) i -94 dBm (10 MHz), o zysku anteny $G=0$ dBi) (nie stwierdzono istotnej różnicy względem wariantu systemu DVB-T/T2) na wysokości terminala 1,5 m n.p.t. przedstawiono w Tabeli 5.

Tabela 5. Dopuszczalna wartość natężenia pola zakłócającego od DVB-T/T2 w miejscu odbioru terminala UE systemu IMT

		System zakłócający DVB-T/T2
System zakłócający	IMT 5 MHz	35,7 dB[μ V/m]
	IMT 10 MHz	38,7 dB[μ V/m]

Zakłócanie DVB-T/T2 przez wspólnokanałowe stacje bazowe IMT w trybie downlink (w kanałach TV 54-60)

Dopuszczalne wartości natężenia pola zakłócającego na granicy zasięgu DVB-T/DVB-T2 wyznaczono na podstawie wymaganych minimalnych poziomów sygnału użytkowego DVB-T/T2 przedstawiono w Tabeli 6.

Tabela 6. Dopuszczalna wartość natężenia pola zakłócającego od IMT downlink w miejscu odbioru DVB-T/T2 (na granicy zasięgu)

		System zakłócający	
		IMT, 5 MHz	IMT 10 MHz
System zakłócający	DVB-T (64QAM 3/4)	51,5 dB[μ V/m]	53,5 dB[μ V/m]
	DVB-T (64QAM 5/6)	48,5 dB[μ V/m]	51,5 dB[μ V/m]
	DVB-T2 (256QAM)	49,5 dB[μ V/m]	50,5 dB[μ V/m]

Biorąc pod uwagę, że w danym kraju nie wykorzystuje się tego samego kanału do jednoczesnej transmisji IMT od terminala UE i jednoczesnego odbioru DVB-T/T2 w tym samym kanale w kanałach 49-53 problem ten nie był analizowany.

Wymagane odległości separacyjne

W obliczeniach wymaganej odległości separacyjnej zapewniającej kompatybilną sytuację założono ochronę poziomów i dopuszczalne pola zakłóceń obliczone wcześniej oraz analizę najgorszego przypadku: skierowania anteny stacji bazowej IMT wiązką główną bezpośrednio w stronę stacji nadawczej DVB-T/T2 (nachylenie wiązki 0 stopni, tłumienie w płaszczyźnie poziomej charakterystyki promieniowania BTS 0dB). W praktyce powinno uwzględnić się także średnie nachylenie wiązki i kierunkowość charakterystyki BTS, rzeczywistą wysokość odbioru i rzeczywiste ukształtowanie terenu z map cyfrowych, a także rzeczywiste parametry stacji DVB-T/T2, co może spowodować zmniejszenie podanej minimalnej odległości separacyjnej.

Wymagane odległości separacyjne w przypadku zakłócania stacji bazowej IMT przez wspólnokanałowe stacje DVB-T/T2

W Tabeli 7 przedstawiono wyznaczoną wymaganą odległość separacyjną w przypadku zakłócania stacji bazowej IMT przez wspólnokanałowe stacje DVB-T/T2.

Tabela 7. Minimalna odległość separacyjna między stacją bazową IMT o parametrach $h_{ant}=40$ m n.p.t., zakłócaną przez pojedynczą stacją DVB-T/T2 o mocy ERP 100 kW, $h_{ant}=200$ m n.p. t., obliczenia wg. 1546-6 [18] (10% czasu, ład) w przypadku stacji IMT zorientowanej wiązką główną bezpośrednio w kierunku zakłócającej stacji DVB-T/T2 [km]

		System zakłócający DVB-T/T2
System zakłócający	IMT 700 MHz 5/10 MHz	370 km

Wymagane odległości separacyjne w przypadku zakłócania odbiorników terminali IMT przez stację nadawczą DVB-T/T2 (w kanałach TV 54-60)

W Tabeli 8 przedstawiono wyznaczoną wymaganą odległość separacyjną w przypadku zakłócania odbiorników terminali IMT przez stację nadawczą DVB-T/T2 (w kanałach TV 54-60).

Tabela 8. Wymagane odległości separacyjne między terminalem UE IMT o parametrach $h_{ant}=1,5$ m n.p.t., 0 dBi na krańcu zasięgu komórki, a stacją DVB-T/T2 ERP 100 kW, $h_{ant}=200$ m n.p.t., obliczenia wg. 1546-6 (10% czasu, ład) [km]

		System zakłócający DVB-T/T2
System zakłócający	IMT700 5 MHz	72 km
	IMT700 10 MHz	65 km

Wymagane odległości separacyjne w przypadku zakłócenia DVB-T/T2 przez współnakanalowe stacje bazowe IMT (w kanałach TV 54-60)

W Tabeli 9 przedstawiono wyznaczoną wymaganą odległość separacyjną w przypadku zakłócenia DVB-T/T2 przez współnakanalowe stacje bazowe IMT (w kanałach TV 54-60).

Tabela 9. Wymagane odległości separacyjne dla typowej (pojedynczej) stacji bazowej IMT o parametrach $h=40$ m n.p.t, EIRP=64 dBm, obliczenia wg. 1546-6 (1% czasu, ład) odległość liczona między stacją IMT a krańcem zasięgu DVB-T/T2 [km]

		System zakłócający	
		IMT 5 MHz	IMT 10 MHz
System zakłócany	DVB-T (64QAM 3/4)	28 km	25
	DVB-T (64QAM 5/6)	32 km	28
	DVB-T2 (256QAM)	30 km	29

Podane odległości separacyjne - wyznaczone na podstawie podanych typowych parametrów stacji oraz krzywych propagacyjnych zapewniają ochronę przed zakłóceniami w tych warunkach pracy. W praktyce będzie można wyznaczać szczegółowe odległości separacyjne dla każdego indywidualnego przypadku biorąc pod uwagę konkretne dane poszczególnych stacji oraz podane dopuszczalne poziomy pól zakłócających.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki analiz oraz badań eksperymentalnych wykonane z użyciem rzeczywistych emisji IMT i DVB-T/T2 potwierdzają znaczący i trudny problem zachowania wzajemnej kompatybilności elektromagnetycznej między systemami mobilnymi IMT (4G/5G) i telewizyjnymi (DVB-T/T2) współużytkującymi ten sam zakres częstotliwości pasma 700 MHz, a który odznacza się wymaganiem w wielu przypadkach bardzo dużych odległości separacyjnych pomiędzy stacjami telewizyjnymi a stacjami IMT. Problem ten jest trudniejszy zwłaszcza w sytuacji części pasma 700 MHz w kanałach telewizyjnych nr 50-53 (702-734 MHz - uplink IMT), w których to emisje telewizyjne DVB-T/T2 o dużej mocy i z wysoko zawieszonych anten nadawczych mogą na bardzo dużym obszarze zakłócać odbiór łącza uplink współnakanalowych stacji bazowych IMT.

Dużo korzystniejsza jest sytuacja w kanałach telewizyjnych 54-60 (734-790 MHz, downlink IMT), gdzie wzajemne zakłócenia są co prawda nadal istotne, jednak są znacząco mniejsze i mogą być ograniczane do minimum przez właściwy dobór parametrów emisyjnych i lokalizacyjnych (mocy, charakterystyk promieniowania, azymuty, położenie) stacji bazowych IMT.

W niniejszym artykule uwzględniano najgorsze przypadki zakłóceń wynikające z możliwej potencjalnej bezpośredniej widoczności anten IMT i DVB-T/T2, w praktyce odległości separacyjne będą mogły być mniejsze, jednak wymagać to będzie każdorazowo indywidualnej oceny i analizy poszczególnych przypadków.

Szczegółowe wymagania zachowania kompatybilności każdorazowo zależeć będą od konkretnych lokalizacji stacji bazowych, ich azymutów promieniowania, charakterystyk systemów antenowych, rzeczywistych pochyłości anten i ewentualnych przesłon i przeszkód terenowych na trasie między stacją DVB-T/T2 a stacją bazową i terminalem.

Niezależnie jednak od możliwości zastosowania tych technik unikania wzajemnych zakłóceń problem ich istnienia jest bardzo znaczący i optymalnie należałoby dążyć każdorazowo do uzyskania identycznych przeznaczeń częstotliwości dla systemów mobilnych albo dla DVB-T/T2 w tych samych częściach pasma UHF w różnych krajach, co jednak może nie być tak proste i szybkie do realizacji w związku z tym, że decyzją Parlamentu Europejskiego i Rady w Polsce i innych krajach UE nastąpiła faktyczna zmiana przeznaczenia pasma 700 MHz na potrzeby sieci mobilnych a pasmo to nadal jest alokowane do celów telewizyjnych po wschodniej stronie granicy Polski.

Wyniki niniejszej pracy mogą posłużyć zarówno Administracji w trakcie planowania i ustalania warunków kompatybilności elektromagnetycznej wykorzystywanych w trakcie uzgodnień międzynarodowych z innymi krajami, jak również operatorom i podmiotom realizującym planowanie przyszłych sieci IMT w paśmie 700 MHz w obecności istniejących emisji telewizyjnych za wschodnią granicą Polski w sytuacji przekazania tego pasma na potrzeby IMT w Polsce.

Problem potencjalnych zakłóceń między IMT a DVB-T/T2 dotyczy także niższych zakresów częstotliwości tj. np. pasmo 600 MHz – które jest obecnie wykorzystywane w Polsce i w Europie do celów transmisji telewizyjnych DVB-T2 a które podlega także analizie możliwości przeznaczenia go w Europie na potrzeby IMT w ramach prac przygotowawczych do konferencji WRC23, podczas której podjęto decyzję o dopuszczeniu współużytkowania także pasma 600 MHz przez niektóre kraje na zasadzie drugiej ważności służby ruchomej lądowej i pierwszej ważności służby radiodifuzyjnej. Oznacza to ścisłą konieczność ochrony telewizji naziemnej w tym paśmie przed zakłóceniami ze strony IMT a zaprezentowane wyniki badań mogą posłużyć też do skutecznej ochrony przed zakłóceniami sieci DVB-T2 w Polsce.

Autorzy: dr inż. Dariusz Więcek, Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej, ul. Swojczyńska 38, 51-501 Wrocław, E-mail: d.wiecek@il-pib.pl; mgr inż. Marcin Mora, Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej, ul. Swojczyńska 38, 51-501 Wrocław, E-mail: m.mora@il-pib.pl.

LITERATURA

- [1] FINAL ACTS WRC-12, Geneva, 2012.
- [2] DECYZJA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY w sprawie wykorzystywania zakresu częstotliwości 470-790 MHz w Unii COM(2016) 43 final, Bruksela, 2016.
- [3] Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands, Recommendation ITU-R BT.1368-13, ITU-R, 06/2017.
- [4] Measurements of protection ratios and overload thresholds for broadcast TV receivers, Report ITU-R BT.2215-7, ITU-R, 04/2018.
- [5] Radiocommunication Study Groups; Norddeutscher Rundfunk (NDR), Zweites Deutsches Fernsehen (ZDF); Studies on the Compatibility between LTE and DVB-T Systems in Co- and Adjacent-Channel Configuration, Doc. 6A/361-E, ITU, 04/2010.
- [6] Measurements on the performance of DVB-T receivers in the presence of interference from the mobile service (especially from LTE), ECC Report 148, Marseille: CEPT ECC, 2010.
- [7] Specific unwanted emission limit of IMT mobile stations operating in the frequency band 694-790 MHz to facilitate protection of existing services in Region 1 in the frequency band 470-694 MHz, Recommendation ITU-R M.2090, ITU-R, 10/2015..
- [8] Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses, Report ITU-R M.2292-0, ITU-R, 12/2013.
- [9] Report A from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "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, CEPT ECC, CEPT Report 53, 2014.
- [10] Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "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,, CEPT ECC, CEPT Report 60, 2016..
- [11] LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 14.5.0 Release 14), ETSI TS 136 104 v14.5.0, ETSI, 10/2017.
- [12] LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 14.3.0 Release 14), ETSI TS 136 101 v14.4.0, ETSI, 08/2017.
- [13] Harmonised technical conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) in the band 694-790 MHz including a paired frequency arrangement (Frequency Division Duplex 2x30 MHz) and an optional unpaired frequency arrangement (Supplemental Downlink),, ECC Decision (15)01, CEPT ECC, 03/2015.
- [14] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios (Release 14), 3GPP TR 36.942, 2017.
- [15] Agreement between the Administrations of Austria, Belgium, Poland, Slovenia and Switzerland on co-ordination of frequencies between 29.7 MHz and 43.5 GHz for the fixed service and land mobile service, (HCM Agreement) agreed by correspondence in 2020, 2020
- [16] Technical Specification Group Radio Access Network; LTE for 700 MHz digital dividend (Release 11) 3GPP TR 36.820 v11.2.0,, 12/2012.
- [17] Reference radiation patterns of omnidirectional, sectoral and other antennas for the fixed and mobile services for use in sharing studies in the frequency range from 400 MHz to about 70 GHz, Rec. ITU-R F.1336-6, 01/2019.
- [18] Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz, Recommendation P.1546-6, Geneva: ITU-R, 08/2019.