

**Zakład Kompatybilności
Elektromagnetycznej**

ul. Swojczycka 38
51-501 Wrocław
T:[+71] 36 99 803,
F:[+71] 37 28 8788
www.itl.waw.pl
sekretariat@il.wroc.pl



**National Institute
of Telecommunications**

ul. Szachowa 1
PL – 04-894 Warszawa
T: [+48 22] 512 81 00
F: [+48 22] 512 86 25
E-mail: info@itl.waw.pl
www.itl.waw.pl

**Kompatybilność systemów nowej generacji oraz
zagadnienie kompatybilności elektromagnetycznej
w środowiskach specjalnych**

Sprawozdanie Z21/213000027/1107/07

WROCŁAW, grudzień 2007

Nr pracy	:	21300027	
Nazwa projektu	:	Kompatybilność systemów nowej generacji oraz zagadnienie kompatybilności elektromagnetycznej w środowiskach specjalnych	
Zleceniodawca	:	Praca Statutowa	
Data rozpoczęcia	:	Styczeń 2007 r.	
Data zakończenia	:	Grudzień 2007 r.	
Słowa kluczowe	:	DVB-T; DVB-H; kompatybilność systemów, planowanie sieci; radiokomunikacja; EMC w środowiskach specjalnych	
Kierownik projektu	:	dr inż. Janusz Sobolewski	
Wykonawcy pracy	:	mgr inż. Marek Kałuski mgr Marta Macher mgr inż. Marek Michalak mgr inż. Magdalena Modrzewska dr inż. Mirosław Pietranik mgr inż. Karolina Skrzypek mgr inż. Piotr Tyrawa dr inż. Dariusz Więcek mgr inż. Bartłomiej Gołębiowski mgr inż. Małgorzata Kondrat mgr inż. Daniel Niewiadomski mgr inż. Jacek Wroński mgr inż. Maciej Grzybowski	kierownik zadania 1 kierownik zadania 2 kierownik zadania 3

Praca wykonana w Zakładzie Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności we Wrocławiu

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, Wrocław 2007

Spis treści

Wprowadzenie.....	5
Zadanie 1. Metody pomiarowe stanu środowiska elektromagnetycznego oraz parametrów EMC urządzeń elektrycznych i elektronicznych pracujących w środowiskach specjalnych.....	6
1 Wstęp.....	6
2 Środowisko elektromagnetyczne kopalni.....	9
2.1 Uwagi ogólne o charakterze zaburzeń w kopaniach	9
2.2 Zaburzenia wielkiej częstotliwości: przewodzone i promieniowane	
2.3 Zaburzenia przewodzone małej częstotliwości w sieci zasilania.....	
3 Metody pomiarów zaburzeń EM w kopalni	10
3.1 Wymagania specyficzne dla sprzętu pomiarowego stosowanego podczas pomiarów zaburzeń EM w kopalni.	10
3.2 Pomiary jakości sieci energetycznej w kopalni (power quality).....	
3.3 Pomiary prądów i napięć zaburzeń w sieci energetycznej kopalni.....	
4 Pomiary statystycznych rozkładów zaburzeń (APD).....	11
4.1 Uwagi ogólne	11
4.2 Rozkład APD.....	
4.3 Parametry analizatora APD (pożądane)	
4.4 Możliwości budowy Analizatora APD w Instytucie Łączności.....	
5 Pomiary zaburzeń radioelektrycznych w dziedzinie czasu	11
5.1 Uwagi ogólne	11
5.2 Układ pomiarowy	12
5.3 Pomiary porównawcze	13
5.4 Porównanie metod.....	14
5.5 Możliwości zastosowania metody w pomiarach w środowiskach specjalnych na przykładzie kopalni	
6 Wnioski	15
Załącznik 1. Pomiary kompatybilności elektromagnetycznej dużych urządzeń i całych instalacji.....	

Załącznik 2. Zasada działania analizatora zaburzeń krótkotrwałych, AZK-44	
Literatura	17
 Zadanie 2. Metoda badania kompatybilności sieci radiofuzji cyfrowej wykorzystującej nadajniki dużej mocy z siecią wykorzystującą nadajniki małej mocy	19
1 Wstęp.....	19
2 Cechy systemu DVB-H.....	20
3 Planowanie sieci DVB-H	21
3.1 Analiza sieci DVB-H	22
4 Wnioski	26
Literatura	27
 Zadanie 3. Wymagania widmowe i aspekty kompatybilności elektromagnetycznej cyfrowych profesjonalnych systemów radiokomunikacyjnych	29
1 Wstęp.....	29
2 Europejska strategia wykorzystania widma dla potrzeb systemów PMR/PAMR	29
3 Problemy kompatybilności profesjonalnych systemów ruchomych.....	34
4 Wnioski	37
Literatura	37
 Zakończenie	39

Wprowadzenie

Problem kompatybilności elektromagnetycznej występuje w wielu zagadnieniach życia. W niniejszej pracy problemem EMC zajmiemy się w trzech konkretnych zagadnieniach:

Zagadnienia Kompatybilności elektromagnetycznej i bezpieczeństwa funkcjonalnego w środowiskach specjalnych jest przedmiotem badań w wielu komitetach technicznych IEC, gdyż zagadnienie te są związane z ochroną życia i zdrowiem ludzi oraz poprawnością działania drogiego sprzętu w środowiskach specjalnych.

W roku 2015 przestanie obowiązywać ochrona sygnału naziemnej telewizji analogowej. Obecnie Europa przechodzi z naziemnych systemów rozsyłczych na cyfrowe, wprowadzana jest telewizja cyfrowa DVB-T i naziemna radiofonia cyfrowa T-DAB. Niebawem będą lub już są wprowadzane takie systemy jak T-DMB, DVB-H, DVB-H2 czy DVB-T2. W chwili obecnej jednym z ważnych problemów jest zagadnienie wzajemnej kompatybilności elektromagnetycznej sieci jednoczęstotliwościowej małej mocy i sieci wieloczęstotliwościowej dużej mocy oraz współistnienie sieci DVB-T i sieci DVB-H.

Również w radiokomunikacji można zauważyć szybki rozwój, wprowadzane są nowe systemy jak również oferuje się użytkownikom coraz szerszy zakres usług. Na forum międzynarodowym podjęto działania zmierzające z jednej strony do wprowadzenia nowych technologii (np. WiFi czy WiMax), zaś z drugiej strony do zastąpienia aktualnie działających systemów analogowych nowymi cyfrowymi systemami wąskopasmowymi i szerokopasmowymi (sieci PMR/PAMR). W związku z tym istotne są zagadnienia kompatybilności międzysystemowej takich systemów jak PMR/PAMR.

W niniejszej pracy poruszone zostały niniejsze zagadnienia jak trzy niezależne zadania:

Zadanie 1. Metody pomiarowe stanu środowiska elektromagnetycznego oraz parametrów EMC urządzeń elektrycznych i elektronicznych pracujących w środowiskach specjalnych

Zadanie 2. Metoda badania kompatybilności sieci radiofuzji cyfrowej wykorzystującej nadajniki dużej mocy z siecią wykorzystującą nadajniki małej mocy

Zadanie 3. Wymagania widmowe i aspekty kompatybilności elektromagnetycznej cyfrowych profesjonalnych systemów radiokomunikacyjnych

Zadanie 1.

Metody pomiarowe stanu środowiska elektromagnetycznego oraz parametrów EMC urządzeń elektrycznych i elektronicznych pracujących w środowiskach specjalnych

1 Wstęp

Producenci różnorodnego sprzętu elektrycznego/elektronicznego muszą uwzględniać wymagania formułowane w Dyrektywie maszynowej [1], niskonapięciowej [2] i w Dyrektywie EMC [3].

W przypadku Dyrektywy EMC, jeśli dla rozważanej grupy urządzeń (czy też pojedynczego urządzenia) nie ma norm dedykowanych (tzw. norm wyrobów lub rodziny wyrobów) odpowiednie wymagania z zakresu EMC ustala się na podstawie norm ogólnych [4, 5, 6, 7].

W dokumentacji towarzyszącej urządzeniu przekazywanemu przyszłemu jego użytkownikowi powinny znaleźć się odpowiednie ustalenia dotyczące norm z zakresu EMC, które zostały wybrane do wykazania zgodności wyrobu z wymaganiami Dyrektywy EMC lub innymi wymaganiami, które mogą wynikać z wzajemnych ustaleń między producentem i użytkownikiem wyrobu.

Należy tu zwrócić uwagę na dwa aspekty oceny wyrobu pod kątem jego właściwości z zakresu EMC. Są to:

- Emisje zaburzeń (o różnorodnym charakterze), dla których podaje się wyniki ich pomiarów, wykonanych zgodnie z wymaganiami, właściwych dla każdego parametru norm. Przyszły użytkownik urządzenia ma tu pełną wiedzę o tym, czy brane pod uwagę konkretne urządzenie, po jego uruchomieniu w określonym miejscu nie spowoduje zakłóceń w pracy innych urządzeń, już działających lub planowanych do uruchomienia. Odpowiednie normy (powoływane w normach ogólnych, [4 - 7]) dokładnie określają, jakiego rodzaju zaburzenia mają być zmierzone, jakimi metodami oraz jakie są dla nich dopuszczalne poziomy z uwzględnieniem rodzaju środowiska ich przyszłej pracy.
- Odporność na zaburzenia. W tym przypadku pozyskiwana, z dokumentacji wyrobu, wiedza może być niewystarczająca do oceny jego zachowania się w przyszłym miejscu pracy. Z zasady powołanie normy z zakresu badań odporności na zaburzenia radioelektryczne oznacza tylko (i tylko) stwierdzenie faktu, że przy określonym poziomie zaburzenia rozważane urządzenie zachowuje swoje parametry użytkowe. Ta informacja jest jednak niewystarczająca w warunkach, gdy w przewidywanym miejscu pracy danego urządzenia mogą wystąpić zaburzenia o innym charakterze, nieuwzględnione w dokumentacji wyrobu lub, jeśli ich poziom jest większy od zadeklarowanej w dokumentacji wyrobu.

Przyszły użytkownik konkretnego urządzenia ma w takiej sytuacji dwa wyjścia:

- Dokonać w przewidywanym miejscu pracy rozważanego urządzenia takich przedsięwzięć, aby ewentualne zaburzenia nigdy nie przekroczyły poziomu, przy którym było testowane urządzenie. Ale to może być kosztowne dla użytkownika.
- Inne podejście to zażądać od dostawcy urządzenia podania dokładniejszych danych o charakterze i poziomie zaburzeń, przy których występują "niekontrolowane działania" urządzenia. Takie podejście może z kolei prowadzić do wzrostu ceny urządzenia (producent musiał wszak dokonać obszerniejszych, czasochłonnych i kosztownych badań).

W efekcie nabywca urządzenia musi przeprowadzić analizę swojej sytuacji z uwzględnieniem także aspektów ekonomicznych.

Sposób postępowania w indywidualnych przypadkach wynikających albo z ograniczonej ilości nabywanych urządzeń albo ze specyfiki przyszłych miejsc ich pracy jest sygnalizowany w normach EN. Przykładowo norma PN-EN 61000-4-6 [8] daje w tym względzie następującą radę:

„jeśli badane urządzenie ma pracować tylko w kilku miejscach, to wówczas analiza miejscowych źródeł zaburzeń umożliwia np. obliczenie związanego z nimi natężenia pola, na które może być narażone rozważane urządzenie (lub ich grupa). Jeśli nie są znane parametry źródeł zaburzeń i matematyczne modele ich rozprzestrzeniania się, wówczas należy zmierzyć poziomy zaburzeń w rozważanych miejscach przyszłej lokalizacji kupowanych (instalowanych) urządzeń”.

Bardziej szczegółowe kroki w tym względzie sugeruje Publikacja IEC 61000-2-6 [9], która dotyczy niskoczęstotliwościowych zaburzeń przewodzonych (typu harmonicznym, interharmonicznym, zmian napięcia zasilania i zapadów) wytwarzanych przez urządzenia w zakładach przemysłowych. Według tej publikacji, aby osiągnąć konsensus ekonomiczny (nakłady na zakup tańszych lub droższych wyrobów i odpowiednich działań w obrębie własnego środowiska elektromagnetycznego) należy pamiętać, że:

- aktualna emisja zaburzeń wytwarzanych przez określone urządzenie zależy od parametrów sieci zasilającej w punkcie jego przyszłej pracy,
- rozpatrywane urządzenie, nawet przekraczające wymagania wynikające z norm ogólnych (właściwych dla np. środowiska przemysłowego) może mieć małe znaczenie dla konkretnej sytuacji, jeśli inne znajdujące się tu urządzenia wytwarzają (tolerowalne z innych względów) silniejsze zaburzenia,
- wynik sumowania się zaburzeń powodowanych przez różne źródła zależy nie tylko od samych urządzeń, ale także od parametrów sieci zasilającej i charakteru aktualnego procesu technologicznego w Zakładzie.
- użytkownik urządzeń może ustalić, w jakimś ważnym dla niego punkcie Zakładu, dopuszczalny poziom zaburzeń inny, niż to formułują np. normy ogólne [4, 5 6, 7]. Jest to zawsze wynik kompromisu kosztów ponoszonych na zmniejszanie poziomu zaburzeń (zakup urządzeń bardziej odklóconych lub przeprowadzenie we własnym zakresie działań prowadzących do zmniejszenia poziomu zaburzeń w wyniku zastosowania filtrów przeciwzakłóceń, ekranów elektromagnetycznych, zmian w konfiguracji urządzeń, itp) lub zakup urządzeń bardziej odpornych na zaburzenia.

Aby to osiągnąć muszą być znane ustalenia (wspomniane już wcześniej) między producentem urządzenia, jego użytkownikiem i „zarządcą” sieci energetycznej¹. Powinni oni dokonać wymiany informacji na temat:

- dopuszczalnych poziomów zaburzeń na przyłączy Zakładu do zewnętrznej sieci energetycznej oraz w newralgicznych dla użytkownika punktach Zakładu (gdzie mogą być zgrupowane urządzenia, których zakłócenie może nieść za sobą poważne skutki, np. w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonalnego),
- parametrów (o ile jest to możliwe do określenia) dotyczących impedancji źródła zaburzeń w przewidywanym punkcie jego włączenia z uwzględnieniem konfiguracji innych urządzeń, dopuszczalnych poziomów zaburzeń dla różnych istotnych zakresów częstotliwości oraz ich parametrów czasowych (dotyczy to w szczególności zaburzeń o charakterze impulsowym), itp.

Ponadto końcowy użytkownik urządzenia powinien dostarczyć (dla „zarządcy” sieci i dla producenta) informacje o:

- wymaganych parametrach urządzenia, w tym informacje o trybach jego pracy (np. opis wykonywanego procesu technologicznego z uwzględnieniem jego rozkładu czasowego),
- przewidywanych, dopuszczalnych (o ile to będzie konieczne) przedsięwzięciach zmniejszających zaburzenia generowane przez inne urządzenia stosowane w Zakładzie,
- planach instalacji elektrycznej i parametrach innych urządzeń, już działających w danym punkcie Zakładu.

Z kolei producent urządzenia jest proszony o informacje dotyczące:

- oczekiwanych poziomów zaburzeń wytwarzanych przez urządzenie, jeśli będzie ono pracować w określonych trybach, (które powinny być jednoznacznie określone bądź to na podstawie własnej wiedzy producenta, bądź też wspólnych uzgodnień producenta i docelowego użytkownika urządzenia); przy czym najlepszym wyjściem są tu pomiary stanu środowiska elektromagnetycznego w docelowym miejscu pracy uzgadnianego urządzenia,
- zależności wytwarzanych zaburzeń od zmian obciążenia (lub innych zmian, np. prędkości obrotowej silników sterowanych elektronicznie), zmian napięcia zasilania itp.

Jeśli wynikiem analizy wymienionych powyżej czynników będzie stwierdzenie, że oczekiwany poziom zaburzeń radioelektrycznych przekroczy próg gwarantujący określony poziom kompatybilności elektromagnetycznej (rozumianej jako poprawne działanie każdego z urządzeń bez wytwarzania nadmiernych, szkodzących innym urządzeniom, zaburzeń) dla sytuacji aktualnej i dla przyszłej (w aspekcie rozbudowy Zakładu, jego modernizacji) wówczas należy rozważyć możliwość:

- modyfikacji sposobu zasilania dany zespół urządzeń,
- zmian parametrów zaburzających urządzeń,
- zastosowanie odpowiednich filtrów, ograniczników, zmian konfiguracji ustawienia itp.),

¹ „Zarządcą” sieci jest ważny dla typowych zakładów przemysłowych korzystających z publicznej, ogólnodostępnej sieci energetycznej.

- *I last but not least*, pogodzenia się ze zwiększonym poziomem zaburzeń pod warunkiem zwiększenia odporności wszystkich istotnych urządzeń pracujących (lub przewidywanych do pracy) w danym punkcie Zakładu.

Wszystkie powyższe wzajemne uzgodnienie w relacji: **producent – użytkownik – dostawca energii elektrycznej**, bardzo często są wielokrotnie powtarzane aż do osiągnięcia określonego, zadowalającego rezultatu.

W niniejszym opracowaniu, w oparciu o wyniki wcześniejszego rozpoznania środowiska elektromagnetycznego w kopalni miedzi (w roku 2006), uzupełnione wynikami pomiarów wykonanych w bieżącym roku:

- scharakteryzowano zaburzenia spotykane najczęściej w podziemnych wyrobiskach kopalni i wynikające stąd konsekwencje dla parametrów EMC pracujących tu urządzeń elektrycznych /elektronicznych,
- omówiono właściwe metody pomiarowe dla typowych zaburzeń spotykanych w kopalniach, zwracając uwagę na ograniczenia, możliwości wykorzystywania w tych pomiarach typowej aparatury pomiarowej, wynikające ze specyfiki fizycznych właściwości środowiska kopalni (np. duża wilgotność przy dość wysokiej temperaturze otoczenia),
- przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów zaburzeń w kilku punktach kopalni.

2 Środowisko elektromagnetyczne kopalni

2.1 Uwagi ogólne o charakterze zaburzeń w kopaniach

Kopalnia jest specyficznym układem przestrzennym w postaci długich poziomych chodników i pionowych szybów, w których znajdują się różnorodne urządzenia połączone ze sobą wspólną siecią zasilania i przewodów sygnalizacyjnych. Jedną z głównych przyczyn zaburzeń w kopalni są wszelkie zmiany prądu w przewodach energetycznych (w wyniku celowego lub awaryjnego włączenia/wyłączenia dużych obciążeń) powodujące powstawanie w całym systemie energetycznym zaburzeń EM rozchodzących się w postaci napięć/prądów (tzw. zaburzenia przewodowe) lub pól o charakterze pola magnetycznego/elektrycznego w bezpośrednim otoczeniu urządzeń i przewodów, w których zachodzą takie zmiany.

Szczegółowy, kompleksowy opis środowiska elektromagnetycznego w kopalni jest w wielu przypadkach praktycznie niemożliwy ze względu na dużą zmienność i różnorodność urządzeń w różnych jej punktach. W konkretnej sytuacji należy po prostu przeprowadzić odpowiednie pomiary tych zaburzeń, które mogą wpływać na różnorodne urządzenia kontrolno-sterujące, których niewłaściwe zadziałanie niesie za sobą niepożądane skutki (dla ludzi, urządzeń i procesu technologicznego).

W roku 2006 w ramach pracy statutowej [14] wykonano pomiary zaburzeń elektromagnetycznych, w 3-ch punktach kopalni miedzi. Uzyskane wyniki wskazują, że dla środowiska kopalni najbardziej istotne są zaburzenia w postaci:

- pól magnetycznych i elektrycznych w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń mocy i ich przewodów,
- prądów/napięć niesymetrycznych w przewodach sieci energetycznej,

- zaburzeń małej częstotliwości w sieci energetycznej, które w większości przypadków można dość dobrze scharakteryzować parametrami stosowanymi przy ocenie jakości sieci zasilania (power quality): zapady-zaniki-fluktuacje napięcia, harmoniczne/interharmoniczne, niesymetria w sieciach 3-przewodowych, itp [15].

Wymienione powyżej zaburzenia charakteryzuje się ich poziomami w funkcji częstotliwości lub ich parametrami czasowymi (dla zaburzeń impulsowych). Wybór odpowiedniej charakterystyki narzuca odpowiednie wymagania dla metody i urządzeń pomiarowych.

W klasyfikacji zaburzeń elektromagnetycznych (przyjętej zwyczajowo we wszelkiego rodzaju dokumentach, normach i publikacjach z dziedziny EMC) identyfikuje się trzy podstawowe kategorie ich podziału ze względu na mierzone cechy:

- zjawiska w.cz. ($f > 9$ kHz),
- zjawiska m.cz. (o częstotliwościach mniejszych od 9 kHz),
- wyładowania elektrostatyczne (ten rodzaj zaburzeń jest mało istotny dla środowiska kopalni ze względu na wilgotność i powszechnie stosowanie w kopalni materiałów o znaczącej przewodności zapobiegającej gromadzeniu się ładunków elektrostatycznych).

3 Metody pomiarów zaburzeń EM w kopalni

3.1 Wymagania specyficzne dla sprzętu pomiarowego stosowanego podczas pomiarów zaburzeń EM w kopalni.

Czynniki charakterystyczne dla środowiska fizycznego kopalni to:

- duża wilgotność (dochodząca w niektórych miejscach do „punktu rosy”) bardzo często stowarzyszona z dość wysoką temperaturą otoczenia (np. 30° C)
- duże zanieczyszczenie (pyły zawierające zanieczyszczenia aktywne, wpływające na niezawodność mikro-połączeń w aparaturze pomiarowo-kontrolnej); stwarzające istotne zagrożenie dla aparatury pomiarowej pozostawionej na dłuższy czas w kopalni (nawet w pomieszczeniach zamkniętych). Ewentualna agresywność takich zanieczyszczeń może w szczególności objawiać się mocno w środowisku o dużej wilgotności,
- ewentualność występowania gazów łatwopalnych (metan, w kopalniach węgla).

Powyższe czynniki (nie wszystkie, ale najistotniejsze) dość jednoznacznie narzucają wymagania, jakie powinna spełniać aparatura przewidywana do pomiarów z dziedziny EMC w warunkach podziemnych wyrobisk w kopalniach. Są tu do uwzględnienia następujące czynniki:

- ciężar aparatury pomiarowej, co wynika z konieczności jej przenoszenia do różnych punktów pomiarowych: urządzenia te powinny być możliwie najlżejsze,

- prostota układu pomiarowego pozwalająca na szybkie rozstawienie urządzeń i wykonanie odpowiednich pomiarów (czas trwania pomiarów doraźnych na ogół wynosi kilka godzin),
- zasilanie aparatury pomiarowej; preferowane są urządzenia z własnym zasilaniem bateryjnym,
- łatwość podłączania urządzeń pomocniczych do elementów mierzonych obiektów; sondy prądowe / napięciowe w.cz.) lub rozstawiania anten pomiarowych.
- newralgiczna aparatura pomiarowa powinna być szczelna lub dostarczana na miejsce pomiarowe w specjalnych pojemnikach. Przy czym dobrą praktyką jest jej wstępne nagrzanie (stąd preferowane zasilanie bateryjne) tak, aby temperatura jej elementów wewnętrznych była wyższa od temperatury otoczenia, co zapobiega skraplaniu się oparów kopalnianych wewnątrz aparatury pomiarowej.

4 Pomiary statystycznych rozkładów zaburzeń (APD)

4.1 Uwagi ogólne

Statystyczna ocena parametrów zaburzeń elektromagnetycznych w funkcji czasu może być bardzo pomocna przy badaniach odporności urządzeń pracujących na zasadzie cyfrowej (np. urządzeń multimedialnych). Przy obecnej wiedzy o wpływach zaburzeń elektromagnetycznych na różnorodne urządzenia (problemy odporności), w szczególności zaburzeń o charakterze impulsowym, wiedza o statystycznych rozkładach ich parametrów w funkcji czasu, w szczególności rozkład amplitud zaburzeń impulsowych (APD - amplitude probability distribution) może być wykorzystany do oceny prawdopodobieństwa występowania błędnych bitów w strumieniu danych (BEP – bit error probability) urządzeń cyfrowych. Należy tu podkreślić fakt, że cyfrowa technika staje się coraz to bardziej istotna we wszelkiego rodzaju transmisjach i przetwarzaniu różnorodnych sygnałów wykorzystywanych do różnych celów (przesyłanie informacji, zdalne sterowanie urządzeniami, itp, itp).

Znając relacje między BEP i APD dla konkretnego systemu (w oparciu o wcześniejsze badania laboratoryjne) istnieje możliwość optymalizacji parametrów strumienia sygnału użytecznego (np. rodzaju szeroko pojętej modulacji, poziom sygnałów itp.).

Przykładowe wyniki statystycznych rozkładów APD w zakładach przemysłowych oraz w kopalni ilustrują Rysunki 4.2 i 4.3.

5 Pomiary zaburzeń radioelektrycznych w dziedzinie czasu

5.1 Uwagi ogólne

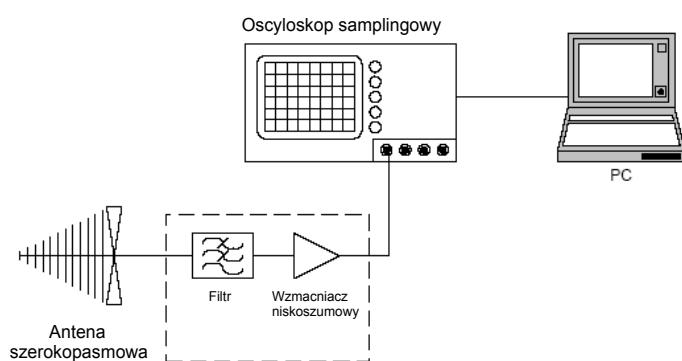
Emisje zaburzeń radioelektrycznych ocenia się obecnie na podstawie pomiarów ich wartości w dziedzinie częstotliwości. Ta metoda jest bardzo użyteczna przy pomiarach zaburzeń o charakterze emisji ciągłych w wąskim paśmie częstotliwości (sygnały o częstotliwościach dyskretnych) na określonych częstotliwościach. Gorzej jest w przypadku konieczności

dokonania oceny zaburzeń w szerokim paśmie częstotliwości. Stosowany do tego celu odbiornik pomiarowy lub analizator widma wymaga długiego czasu dla przeprowadzenia odpowiednich pomiarów, ze względu na konieczność zatrzymania się odbiornika na pewien czas przy każdej częstotliwości pomiarowej (czas trwania jednego kroku wynikający z przyjętego skoku częstotliwości w dużej mierze zależy od przyjętego rodzaju wartościowania zaburzeń: tj. rodzaju detektora odbiornika pomiarowego). Najdłuższe czasy pomiarów obserwuje się przy zastosowaniu powszechnie przyjętego w miernictwie EMC detektora tzw. wartości quasi-szczytowej. Z tego względu wykonuje się pomiary w kilku krokach: najpierw wykonuje się pomiary wartości szczytowej, a następnie w tych zakresach częstotliwości, w których zostaną przekroczone odpowiednie dopuszczalne poziomy dla wartości quasi-szczytowej powtarza się pomiary z użyciem detektora wartości quasi-szczytowej i w kolejnym kroku (postępując analogicznie) z użyciem detektora wartości średniej. Mimo to procedura badań jest nadal czasochłonna.

Dzięki pojawieniu się nowych systemów pomiarowych, pracujących z ultraszybkim pobieraniem próbek (ultra high-speed sampling systems) stosowana dotychczas metoda może być zastąpiona pomiarami w dziedzinie czasu (z dalszą obróbką programową). Znajomość kształtu przebiegu zaburzenia impulsowego w dziedzinie czasu (mierzonego praktycznie „natychmiast”) pozwala na dokonanie oceny częstotliwościowej charakterystyki zaburzeń odpowiednio do aktualnego wystąpienia zaburzenia. W dotychczasowej metodzie (długotrwałej) część charakterystyki częstotliwościowej może być związana już z innym przebiegiem impulsowym (zanim odbiornik pomiarowy "dotrze" do wyższych częstotliwości, źródło zaburzeń może już generować zupełnie inne impulsy zaburzające!).

5.2 Układ pomiarowy

W Wielkiej Brytanii [13] wykonano dość obszerne badania nad oceną poprawności pomiarów zaburzeń radioelektrycznych z zastosowaniem pomiarów w dziedzinie czasu. W pomiarach praktycznych stosowano układ pomiarowy, którego ideę pokazano na Rysunku 5.1.

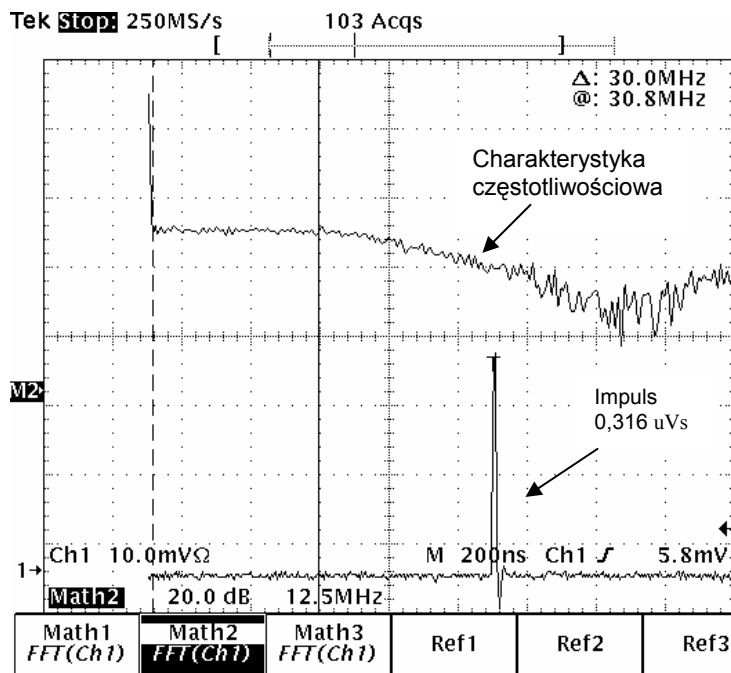


Rysunek 5.1

Schemat blokowy układu pomiarowego ilustrujący zasadę pomiarów zaburzeń impulsowych w dziedzinie czasu.

Zamiast anteny pomiarowej może być zastosowany inny przetwornik sygnału (np. sonda napięciowa, transformator prądowy).

W układzie (Rysunek 5.1) zastosowano oscyloskop z możliwością pobierania do 20 Gigasampli i z pasmem analogowym od prądu stałego do 4 GHz.



Rysunek 5.2
Przykład wyników pomiarów metodą oscyloskopową parametrów impulsu i równoważnej mu charakterystyki częstotliwościowej.

Testowany przebieg to impuls wzorcowy o powierzchni 0,316 μVs i równomiernym widmie do 30 MHz.

Pomiary wykonawców pracy.

Oscyloskop Tektronix, typ TDS 694 C o paśmie analogowym do 3 GHz i możliwości pobierania próbek do 10 Gigasampli

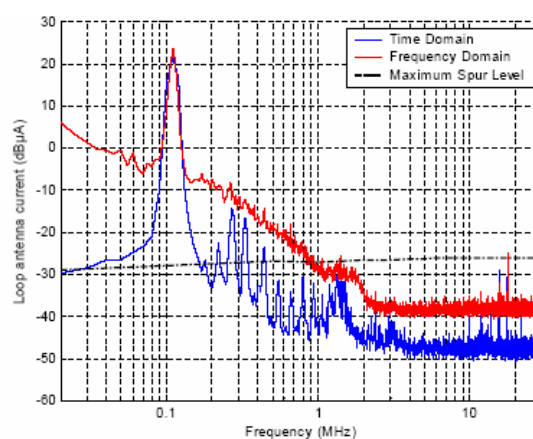
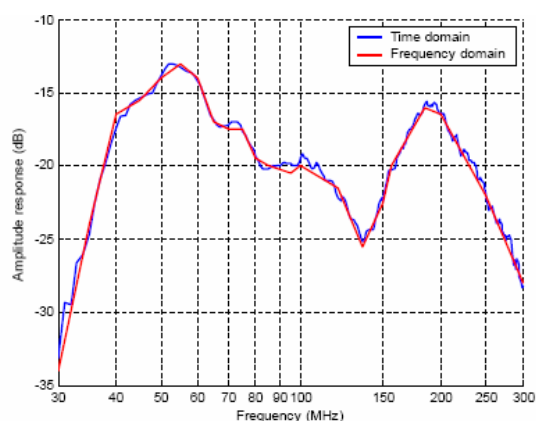
5.3 Pomiary porównawcze

Kolejnym etapem omawianych badań brytyjskich były pomiary porównawcze oraz ocena możliwości zastosowania nowej metody w pomiarach IN SITU (na przykładzie badania urządzeń transportu kolejowego).

Rozkład częstotliwościowy zmierzonego przebiegu oblicza się przez zastosowanie szybkiej transformaty Fourier'a (FFT). Badania porównawcze (z dotychczasową metodą, w której stosuje się klasyczny odbiornik pomiarowy w dziedzinie częstotliwości) wykonano dla kilku rodzajów zaburzeń o następującym charakterze:

- **fala ciągła** o znanej amplitudzie (pomiary wykonano dla pewnej grupy częstotliwości)
- **szumy szerokopasmowe** (generator szumów)
- **generator grzebieniowy** generujący sygnały co 100 MHz w zakresie od 80 MHz do 4 GHz.
- **zaburzenia o częstotliwościach poniżej 30 MHz** (zastosowanie anteny ramowej w pomiarach składowej magnetycznej ze źródła o częstotliwości 110 kHz oraz z komputera osobistego).

Przeprowadzone porównania wskazują na bardzo dobrą zgodność uzyskiwanych nową metodą wyników z wynikami, które uzyskuje się przez pomiar za pomocą przestrajanego odbiornika (analizatora widma). Nowa metoda daje dodatkowe (oczywiste) informacje bardzo przydatne przy ocenie wpływu zaburzeń o charakterze impulsowym na sygnały cyfrowe (możliwość oceny współczynnika BER – bit error rate – dla systemów cyfrowych). Takiej oczywistej dla nowej metody możliwości, nie ma metoda dotychczasowa. Tytułem przykładu potwierdzającego bardzo dobrą zgodność obu metod pomiarów są wyniki pokazane na rysunku 5.3.



Rysunek 5.3

Wyniki pomiarów w dziedzinie częstotliwości (linie czerwone) i w dziedzinie czasu (po przeliczeniu na równoważne widmo sygnału za pomocą szybkiej transformaty Fourier'a).

5.4 Porównanie metod

Cecha	Pomiar w dziedzinie częstotliwości	Pomiar w dziedzinie czasu
Dokładność pomiarów		
<ul style="list-style-type: none"> Sygnały o charakterze fali ciągłej, Sygnały impulsowe 	<p>Bardzo dobra, sprawdzona w różnych laboratoriach</p> <ol style="list-style-type: none"> Do przyjęcia, w pomiarach wartości szczytowej dla dużej częstości powtarzania impulsów, Krytyczne jest stosowanie wartościowania z różnymi detektorami, Nie do przyjęcia w przypadku zaburzeń impulsowych o małej częstości powtarzania 	<p>Bardzo dobra. Sprawdzona w szerokim zakresie częstotliwości.</p> <ol style="list-style-type: none"> Doskonała przy pomiarach wartości szczytowej pod warunkiem uchwycenia amplitudy impulsu, Krytyczna jest częstość próbkowania („triggering”),
Powtarzalność		
	<ol style="list-style-type: none"> Dobra dla zaburzeń o charakterze fali ciągłej i zaburzeń impulsowych Przy kolejnych powtórzeniach uzyskuje się podobne wyniki, ale nie zawsze dokładne ze względu na duże stałe czasowe stosowanych detektorów 	<ol style="list-style-type: none"> Bardzo dobra powtarzalność dla zaburzeń o charakterze fali ciągłej. Różnice występujące przy kolejnych powtórzeniach mogą wynikać z faktu, że w metodzie częstotliwościowej pomiar nie zawsze przeprowadza się dla tego samego impulsu
Czas pomiaru		
Jednorazowe przemiatanie w zakresie od 30 MHz do 4 GHz przy pomiarach wartości:	16 minut	1 minuta

Cecha	Pomiar w dziedzinie częstotliwości	Pomiar w dziedzinie czasu
<ul style="list-style-type: none"> • szczytowej (PK), • PK i średniej 	25 minut	1 minuta
Zakres dynamiczny		
<ul style="list-style-type: none"> • czułość, • odpowiedzi niepożądane, • Zakres dynamiczny 	<ul style="list-style-type: none"> • dobra, • 80 dBc, typowo • 110 dB, typowo 	<ul style="list-style-type: none"> • dobra • - 60 dB • \approx 60 dB

Podsumowując, metoda pomiarów w dziedzinie czasu (choć nie jest absolutnym panaceum) ma następujące przewagi w stosunku do metody pomiarów zaburzeń w dziedzinie częstotliwości przez stosowanie typowych odbiorników pomiarowych, lub analizatorów widma:

1. Absolutna przewaga przy pomiarach zaburzeń impulsowych, ale ze względu na ograniczoną dynamikę tylko w pomieszczeniach ekranowanych,
2. Istotne skrócenie czasu pomiarów w badaniach produkcyjnych (szybka informacja o generowanych zaburzeniach i wpływie przedsięwzięć konstrukcyjnych mających doprowadzić do uzyskania odpowiednich własności urządzenia w dziedzinie częstotliwości, zgodnie z wymaganiami właściwych norm)

6 Wnioski

- Ostateczną odpowiedzialność za konsekwencje wielostronnych uzgodnień (dostawca/producent-użytkownik końcowy i ewentualnie laboratorium badawcze EMC) ponosi końcowy użytkownik urządzenia, zwłaszcza, jeśli niewłaściwe zadziałanie urządzenia może spowodować zagrożenie dla sprzętu lub ludzi. Użytkownik musi zdawać sobie sprawę z tego gdzie u niego będzie pracowało kupowane urządzenie i jaki jest stan środowiska elektromagnetycznego w tym miejscu. Powyższe stwierdzenie dotyczy zwłaszcza wszelkiego rodzaju środowisk specjalnych, takich jak np. środowiska podziemnych wyrobisk w kopalniach, gdzie nagromadzenie wszelkiego rodzaju sprzętu elektrycznego (istotnego źródła zaburzeń elektromagnetycznych) jest duże.
- To użytkownik końcowy musi wyraźnie uprzedzić producenta (dostawcę) urządzenia na jakie zaburzenia (co do charakteru, poziomu i prawdopodobieństwa ich wystąpienia) będzie ono narażone w docelowym miejscu pracy.
- Bardzo często użytkownicy i producenci urządzeń zadowolają się stwierdzeniem faktu, że kupowane/sprzedawane urządzenie spełnia wymagania norm formułujących odpowiednie wymagania z zakresu EMC dla środowiska przemysłowego. Formalnie niby wszystko jest w porządku; można przecież powiedzieć, że kopalnia to "typowe" środowisko przemysłowe! Ale czy to odpowiada rzeczywistości? Czy rzeczywiście poziomy zaburzeń obserwowane w kopalni nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla typowego środowiska przemysłowego?

- Wniosek ostateczny to konieczność uświadomienia użytkownikom różnorodnego sprzętu elektrycznego/elektronicznego przewidywanego do pracy w środowiskach specjalnych (dotyczy to nie tylko najczęściej przywoływanego w niniejszym opracowaniu środowiska kopalń), że powinni oni mieć jak najszerze rozeznanie stanu środowiska elektromagnetycznego we wszystkich newralgicznych punktach, w których mogą znaleźć się urządzenia elektroniczne podatne na zaburzenia elektromagnetyczne i których niewłaściwe zadziaływanie może nieść niepożądane skutki (dla ludzi, procesu technologicznego, niezawodności sprzętu itp).
- Urządzenia stosowane w kopalniach wytwarzają zaburzenia elektromagnetyczne znacznie przewyższające poziomy odporności wymagane w normach ogólnych dla środowiska przemysłowego. Dotyczy to zwłaszcza zaburzeń przewodowych w sieci zasilania. Przykładowo urządzenia bardzo dużej mocy o impedancji zespolonej (zwłaszcza o charakterze indukcyjnym), w wyniku ich nagłego odłączenia, generują krótkotrwałe, bardzo duże przepięcia o charakterze impulsowym o wartościach nawet kilkuset V (o czasie trwania poniżej 0,1 ms). Z kolei urządzenia o nieliniowym charakterze impedancji są przyczyną powstawania dużych poziomów sygnałów harmonicznych, itp
- Producenci/dostawcy sprzętu w większości przypadków starają się spełniać wymagania z zakresu odporności określone w normie ogólnej dotyczącej środowiska przemysłowego [5]. Wymagania tej normy niestety odstają od rzeczywistych poziomów zaburzeń generowanych przez sprzęt dużej mocy stosowany w kopalniach. Innym ważnym aspektem tego problemu jest dopuszczalność większych poziomów zaburzeń przez np. normy dotyczące oceny jakości sieci zasilania [25, 26]. Przykładowo wg PN-EN 61000-6-2 [5] badania odporności na szybkie zmiany napięcia sprawdza się przy napięciu $(1 \div 2)$ kV, podczas gdy normy stosowane przy ocenie jakości sieci zasilania dopuszczają chwilowe przepięcia o wartości 4 kV [25] lub 6 kV wg [26].
- Nie ma możliwości dokonania generalnej oceny stanu środowiska elektromagnetycznego, słusznej dla całej kopalni, ze względu na różnorodność stosowanego w różnych jej działach sprzętu, specyfiki geologicznej kopalni (mającej istotny wpływ na propagację zjawisk elektromagnetycznych, zwłaszcza promieniowanych), wzajemnej separacji urządzeń i względnie dużego tłumienia zaburzeń rozchodzących się przewodowo (w sieci elektroenergetycznej, przewodach sygnałowych). Istotne są najbliższe urządzenia będące źródłami zaburzeń. Stąd każdorazowo konieczna jest ocena stanu środowiska w konkretnym miejscu kopalni, w którym przewiduje się wprowadzanie nowego sprzętu.
- Należy zwrócić uwagę na wyposażenie pomiarowe i możliwości jego pracy w specyficznym środowisku kopalni (urządzenia w pewnych przypadkach muszą być iskrobezpieczne, a w innych muszą charakteryzować się odpowiednią szczelnością; praca w miejscach o b. dużej wilgotności względnej). Tu powstaje problem konieczności przeprowadzenia odpowiedniej kalkulacji czy pomiary należy zlecać zewnętrznym laboratoriom (wyposażonym w odpowiednią aparaturę) czy też dokonać jednorazowego zakupu aparatury we własnym zakresie.

Literatura

- [1] Dyrektywa maszynowa, Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn zmieniająca dyrektywę 95/16/WE.
- [2] Dyrektywa niskonapięciowa, Dyrektywa 2006/95/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w niektórych granicach napięcia
- [3] Dyrektywa EMC, Dyrektywa 2004/108/EC Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EWG (zastąpi dyrektywę 89/336/EEC)
- [4] PN-EN 61000-6-1, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-1: Normy ogólne. Odporność w środowiskach mieszkalnych, handlowych i lekko uprzemysłowionych
- [5] PN-EN 61000-6-2, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-2: Normy ogólne. Odporność w środowiskach przemysłowych
- [6] PN-EN 61000-6-3, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-3: Normy ogólne. Norma emisji w środowiskach mieszkalnych, handlowych i lekko uprzemysłowionych
- [7] PN-EN 61000-6-4, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-4: Normy ogólne. Norma emisji w środowiskach przemysłowych [8] PN-EN 61000-4-6, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Odporność na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej
- [9] IEC 61000-2-6, Electromagnetic compatibility (EMC). Assessment of the emission levels in the power supply of industrial plants as regards low-frequency conducted disturbances
- [10] Kanda M., "Time and amplitude statistics for electromagnetic noise in mines". Raport przygotowany dla U.S. Bureau of Mines.
- [11] CISPR/579/FDIS, Amendment to CISPR 16-1-1: Amplitude probability distribution (APD) specifications
- [12] CISPR/A/487/CD, Amendment to CISPR 16-1 Clause 4.5.2 : Spectrum analyzers and scanning receivers for the frequency range 1 GHz to 18 GHz: Amplitude Probability Distribution (APD)
- [13] Man-made noise measurement programme (AY 4119/UK)
- [14] Kompatybilność elektromagnetyczna i bezpieczeństwo funkcjonalne w kopalniach. Praca statutowa nr Z21/21 30 002 6/2006,
- [15] PN-EN 61000-4-30, Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 4-30: Metody badań pomiarów - Metody pomiaru jakości energii
- [16] PN-EN 61000-4-13, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-13: Metody badań i pomiarów. Badania odporności na harmoniczne i interharmoniczne

- małej częstotliwości w przyłączy prądu przemiennego łącznie z sygnałami przesyłanymi w sieciach zasilających
- [17] PN-EN 61000-4-11, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia
 - [18] PN-EN 61000-4-14, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-14: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na wahania napięcia
 - [19] PN-EN 61000-4-28, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-28: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na zmiany częstotliwości sieci zasilającej
 - [20] PN-EN 61000-4-27, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-27: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na asymetrię napięcia
 - [21] PN-EN 61000-4-16, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na asymetryczne zaburzenia przewodzone w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 150 kHz
 - [22] PN-EN 61000-4-8, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej
 - [23] PN-EN 61000-4-9, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na impulsowe pole magnetyczne
 - [24] PN-EN 61000-4-10, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na pole magnetyczne oscylacyjne tłumione
 - [25] PN-EN 50160, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.
 - [26] PN- EN 61000-4-30, Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 4-30: Metody badań i pomiarów - Metody pomiaru jakości energii.

Zadanie 2.

Metoda badania kompatybilności sieci radiodifuzji cyfrowej wykorzystującej nadajniki dużej mocy z siecią wykorzystującą nadajniki małej mocy

1 Wstęp

W trakcie Regionalnej Konferencji Radiokomunikacyjnej ITU-R na przełomie maja i czerwca 2006 (RRC'06) został opracowany i przyjęty w pasmach telewizyjnych VHF (174-230MHz) i UHF (470-862MHz) Plan Cyfrowy Genewa'06 (GE'06) [4] dla wszystkich krajów europejskich, afrykańskich, krajów Bliskiego Wschodu i krajów byłego ZSRR. Założenia techniczne Planu jak również kryteria kompatybilności elektromagnetycznej z innymi systemami przygotowane zostały na bazie systemu DVB-T [2] w przypadku kanałów o szerokości 7 i 8MHz (pasma VHF i UHF) oraz na bazie systemu T-DAB w przypadku kanałów o szerokości 1,5MHz w paśmie III. Plan GE'06 składa się z wpisów obejmujących konkretne przydziały częstotliwości z podaniem ich lokalizacji (stacje), (tzw. assignments) a także obszary rezerwacji częstotliwości określające obszar geograficzny wraz z przyporządkowanym kanałem częstotliwości, (tzw. allotments), które nie mają zdefiniowanych konkretnych parametrów i lokalizacji stacji. Podejście takie zapewnia znaczną elastyczność w przypadku implementacji Planu, pozwalającą na dużą swobodę w wyborze lokalizacji stacji jak również ich parametrów technicznych. W Porozumieniu GE'06 zawarta jest również dodatkowa elastyczność związana z wprowadzaniem następnych, nowszych technologii bazująca na tzw. koncepcji maski widma. Oznacza ona możliwość implementowania Planu za pomocą dowolnego systemu - standardu radiodifuzji cyfrowej, pod warunkiem zachowania zgodności kształtu widma z widmem systemu DVB-T i T-DAB, zapewnieniem nie generowania zakłóceń większych niż systemy DVB-T/T-DAB i brakiem żądania przez ten inny standard ochrony większej niż wynika to z parametrów systemów DVB-T/T-DAB. Umożliwia to w prosty sposób implementowanie kolejnych technologii radiodifuzyjnych (np. DVB-T2, T-DMB, DVB-H, DVB-H2 itd.) bez konieczności modyfikacji planu, w ramach parametrów technicznych przydziałów (assignments) i obszarów rezerwacji (allotments). Dodatkowo w czasie Konferencji RRC'06 kraje europejskie zgodziły się na wykorzystywanie Planu przez dowolne technologie radiowe, nie tylko stricte radiodifuzyjne, także systemy mobilne, pod warunkiem zagwarantowania ww. koncepcji maski widma. Jednym z głównych systemów kandydujących do wdrożenia w paśmie UHF, na takich zasadach, jest w Europie system DVB-H [3], który zapewnia odbiór przekazów radiowych i telewizyjnych do odbiorców ruchomych wyposażonych w małe terminale noszone. System ten, wdrożony już w niektórych krajach w Europie (np. Włochy, Finlandia) podczas implementacji w kraju będzie musiał z jednej strony spełnić wymagania Planu GE'06, z drugiej zapewnić kompatybilną pracę systemu DVB-T. W pracy przedstawiono podstawowe zasady obowiązujące w trakcie implementacji sieci DVB-H jak również przeanalizowano problemy planowania, optymalizacji i kompatybilności systemu DVB-H. Zasadniczym elementem współistnienia sieci DVB-H i sieci DVB-T jest zagadnienie wzajemnej kompatybilności elektromagnetycznej sieci jednoczęstotliwościowej małej mocy i sieci wieloczęstotliwościowej dużej mocy.

2 Cechy systemu DVB-H

Standard DVB-H [3] został przyjęty przez Europejski Instytut Standardów Telekomunikacyjnych ETSI w roku 2004 i natychmiast zyskał popularność dzięki zaangażowaniu w jego promocję dużych koncernów z branży telefonii komórkowej (m.in. Nokia, Motorola). Firmy te dostrzegały ograniczenia technologii komórkowych zarówno 2 jak i następnych generacji (GSM, UMTS) w przypadku ich wykorzystywania do odbioru przekazu video do wielu osób równocześnie. Ograniczenia te wynikają zarówno z dostępnej przepływności cyfrowej, występujących problemów z odbiorem w szybko poruszającym się pojeździe jak i przede wszystkim z ograniczoną liczbą abonentów, którzy mogliby jednocześnie korzystać z odbioru przekazu obrazu: takiego jak emisje na żywo programów TV. Stąd stało się jasne, że do celów transmisji programów telewizyjnych do bardzo wielu odbiorców (setki tysięcy w obrębie jednego miasta) konieczne jest zastosowanie innych technik, zbliżonych pod względem parametrów i cech własnych do technik radiodifuzyjnych. Ponieważ w Europie z sukcesem wdrażana jest telewizja cyfrowa DVB-T a jej parametry techniczne i wynikające z nich: dostępna przepływność, zasięgi, odporność na odbicia i dobry odbiór w ruchu gwarantują w wielu miejscach dobry odbiór takiej emisji także na terminalach noszonych przyjęto, że bazą standardu emisji programów TV do terminali komórkowych będzie standard DVB-T, w którym dokonano jedynie kilku modyfikacji poprawiających odbiór za pomocą terminali komórkowych. 18 lipca 2007 r. Komisja Europejska przyjęła strategię w zakresie upowszechnienia telewizji mobilnej we wszystkich krajach członkowskich Unii Europejskiej w jednolitym standardzie DVB-H.

Powszechnie wykorzystywana wersja standardu DVB-T na ok. 8 tys. podnośnych OFDM (tzw. 8k) nie jest zbyt dobra w warunkach odbioru z dużą prędkością ze względu na występujące problemy tolerancji efektu Dopplera. Z drugiej strony wariant ten jest bardziej pożądany od tzw. wariantu 2k na 2 tys. podnośnych z powodu większych odstępów ochronnych (guard interval) skutkujących możliwością budowy rozległych sieci jednoczesotliwościowych obejmujących znaczne obszary [7,8]. W przypadku DVB-H dodano nowy, kompromisowy tryb transmisji, na ok. 4 tys. podnośnych OFDM (tzw. 4k), który z jednej strony zapewnia dobrą tolerancję efektu Dopplera w przypadku odbioru w ruchu z dużą prędkością, a z drugiej pozwala na budowę stosunkowo rozległych sieci jednoczesotliwościowych.

Kolejną różnicą w stosunku do DVB-T było przyjęcie dodatkowego zabezpieczenia przed błędami tzw. „kodowania MPE-FEC” (Multi Protocol Encapsulation Forward Error Correction) (wg EN 301 192), poprawiającego odbiór sygnału w czasie ruchu przy użyciu pojedynczej anteny i uodparniające sygnał DVB-H na impulsowe zakłócenia powstające w ruchu.

Zastosowano także dodatkowo tzw. „szatkowanie czasu” TS (Time Slicing) (wg EN 301 192), polegające na przesyłaniu danych w krótkich czasowo grupach ze znacznie większą prędkością bitową. Pozwala to na przebywanie odbiornika w stanie aktywnym nie przez cały czas, jak w przypadku DVB-T, ale jedynie w tym okresie czasu, w którym odbiera przychodzącą grupę, co z kolei oznacza znaczne zmniejszenie zużycia energii, tak istotnego w przypadku odbiorników zasilanych bateryjnie. Pozostałe cechy transmisyjne (rodzaj modulacji podnośnych OFDM, kodowanie splotowe itp.) są identyczne jak w przypadku DVB-T tak, że w dużej części można wykorzystywać zarówno urządzenia jak i infrastrukturę DVB-T do transmisji sygnału DVB-H. Urządzenie nadawcze DVB-T należy jedynie uzupełnić o mechanizmy MPE-FEC i TS. Zasadniczymi zakresami częstotliwości przeznaczonymi dla DVB-H są, podobnie jak dla DVB-T, pasma IV i V, choć w niektórych krajach (np. USA) system jest uruchamiany np. w paśmie 1.5GHz, istnieje też satelitarno-naziemna odmiana systemu, przeznaczona do pracy w paśmie 2,2GHz. Najwięcej instalacji

DVB-H działa obecnie jednak w pasmach UHF, do odbioru w tym zakresie przeznaczone są też powszechnie produkowane niektóre telefony komórkowe (np. Nokia N77).

Podstawowe parametry emisyjne systemu DVB-H są zgodne z normą DVB-T i obejmują modulację QPSK, 16QAM i 64QAM (ta ostatnia nie jest zalecana do odbioru DVB-H), kodowanie splotowe o kodzie od 1/2 do 7/8 (zaleca się stosowanie „mocniejszych” kodów: 1/2, 2/3) oraz odstępy ochronne: 1/4 do 1/32 czasu trwania symbolu. Pozwalają one na wybór jednego z wielu trybów transmisyjnych dopasowanych zarówno do warunków odbioru jak i struktury sieci, jak i oczekiwanej przepływności (liczby programów). Np. w jednym z wariantów (16QAM kod 2/3 odstęp ochronny 1/4), cechującym się dobrym, odpornym na zakłócenia odbiorem, a z drugiej możliwością budowy stosunkowo dużych sieci SFN osiągana jest przepływność na poziomie 8,7Mb/s pozwalająca na emisję ponad 20 programów telewizyjnych w jednym multipleksie (MPEG4 AVC, obraz jakości QVGA) lub ok. 120 programów radiowych (MPEG4 HE AAC).

3 Planowanie sieci DVB-H

Jak już wspomniano na wstępie system DVB-H może być implementowany w oparciu o obszary rezerwacji Planu GE'06. Ponieważ jednak w początkowym okresie cyfryzacji brak jest dostępnych większości z kanałów Planu GE'06 w związku z ich zajmowaniem przez systemy analogowe, osiągnięcie pokrycia większych obszarów kraju w systemie DVB-H wydaje się niemożliwe, do czasu aż nastąpi całkowite wyłączenie telewizji analogowej. Jednakże możliwe będzie zapewne uruchamianie stacji o zasięgu lokalnym, obejmującym np. duże aglomeracje miejskie, cechujące się, co prawda niewielkim obszarem pokrycia powierzchniowego, ale za to znacznym obszarem pokrycia ludnościowego. Uruchomienia takie będą mogły odbywać się zarówno w kanałach Planu GE'06 jak i w tymczasowych, niekolizyjnych z TV analogową kanałach, które zostaną zamienione na docelowe po wyłączeniu emisji analogowej lub, które staną się rozszerzeniem Planu GE'06. Należy przy tym zauważyć, że pożądanym zakresem częstotliwości przez operatorów DVB-H jest zakres 470-750MHz w związku z pojawiającymi się problemami braku kompatybilności z sieciami komórkowymi w przypadku stosowania wyższych niż 55 kanałów telewizyjnych, zwłaszcza w tych samych lokalizacjach stacji DVB-H co stacje telefonii komórkowej GSM900 [10]. Problem wzajemnej kompatybilności uzyskiwanej dzięki właściwej separacji częstotliwościowej występuje głównie w produkowanych obecnie terminalach odbiorczych, które mogą wykorzystywać zakres tylko do 750MHz ze względu na kompatybilność z siecią GSM. W Europie trwają prace nad harmonizacją pasm przeznaczonych do usług TV mobilnej w zakresie UHF (grupa ECC TG4) i dąży się obecnie do zawężenia pasma przeznaczonego dla tej służby umożliwiając dzięki temu stosowanie terminali o antenach charakteryzujących się lepszym zyskiem. W niniejszym opracowaniu bazowano na parametrach planistycznych podanych przez EBU [1] uwzględniając dodatkowo zyski anten zewnętrznych powszechnie wykorzystywanych obecnie w terminalach DVB-H. W przypadku zastosowania terminali wąskopasmowych te zyski anten byłyby dodatkowo większe o ok. 3-5dB i wynikające z tego zasięgi stacji odpowiednio by wzrosły. Do czasu zdecydowania o kanałach przeznaczonych dla DVB-H w ramach dywidendy cyfrowej takie wąskopasmowe terminale nie będą produkowane, stąd w obecnych analizach nie były one uwzględniane. W planowaniu sieci DVB-H należy uwzględnić zarówno tryb pracy systemu (rodzaj modulacji, kodowania) jak również rodzaj terminali odbiorczych (noszone, mobilne, z lub bez anteny zewnętrznej) warunki odbioru (w mieście, poza miastem, wewnątrz czy na zewnątrz budynków). Dla różnych kombinacji ww. czynników uzyskiwany będzie różny zasięg systemu. W niniejszej analizie skupiono się na odbiorze za pomocą terminali noszonych zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz budynków (tryb A i B odbioru DVB-H). Tryby odbioru mobilnego

(w samochodzie): C i D nie były brane pod uwagę.

Czynniki opisane wyżej mają wpływ na podstawowy parametr planistyczny, jakim jest minimalne wymagane natężenie pola elektromagnetycznego sygnału użytecznego. Poza tą wartością w celu szacowania zasięgu konieczne jest uwzględnienie zakłóceń od innych sieci (analogowych, cyfrowych) wspólnie i sąsiedniokanałowych. Zwłaszcza emisje sąsiedniokanałowe dużej mocy ze stacji DVB-T zlokalizowanych w innych niż stacje DVB-H lokalizacjach mogą znacząco pogorszyć odbiór DVB-H w pobliżu stacji DVB-T. W przypadku uruchamiania kilku stacji DVB-H w ramach sieci jednoczęstotliwościowej SFN konieczne jest uwzględnienie statystycznego składania rozkładów natężenia pola wszystkich sygnałów sieci, mającego z jednej strony wpływ na tzw. zysk sieci (*network gain*) a z drugiej na poziom tzw. interferencji własnych (*self-interference*). Zasadnicze elementy, które należy uwzględnić podczas projektowania sieci SFN opisano w [6,7]. Interferencje własne powstają wskutek docierania do odbiornika sygnałów OFDM opóźnionych bardziej niż dopuszcza to stosowany odstęp ochronny. Konieczne jest w tym przypadku wyznaczenie statystycznej sumy sygnałów zakłócających mających wpływ na degradację sygnału w sieci. Podobną analizę statystyczną należy przeprowadzić w przypadku składania sygnałów użytecznych wnoszących swój wkład w powstanie tzw. zysku sieciowego.

3.1 Analiza sieci DVB-H

Do analizy wybrano obszar Warszawy i okolic, który cechuje się bardzo dobrym pokryciem ludnościowym w niewielkim obszarze geograficznym. Obliczenia wykonano przy użyciu własnego oprogramowania, dedykowanego do obliczeń zasięgów sieci DVB-T/DVB-H (SFN.NET) wykorzystującego własne metody analityczne [6], cyfrową mapę wysokości Polski Instytutu Łączności oraz model propagacyjny ITU-R P.1546 [5]. Obliczenia przeprowadzono dla następujących danych (Tabela 1):

Tabela. 1. Dane do obliczeń zasięgów DVB-H

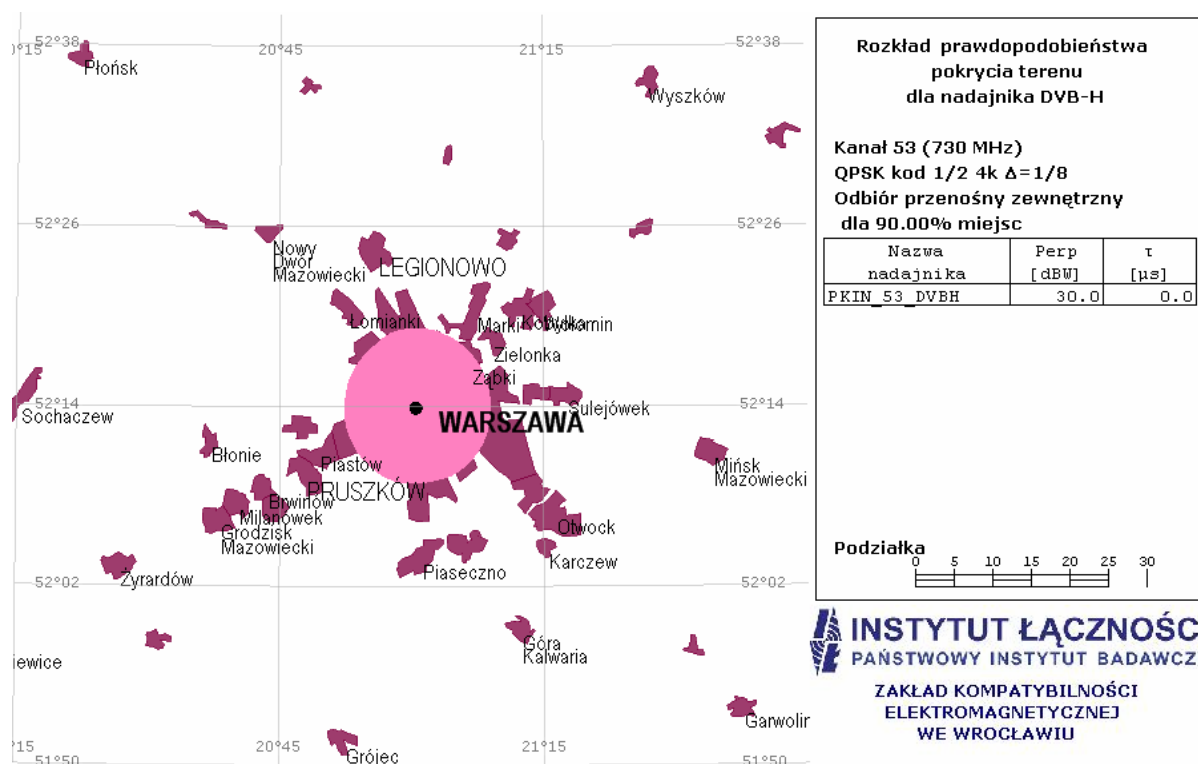
Częstotliwość	730 MHz
Tryb odbioru	Przenośny A, B
Współczynnik ochronny wspólnokanałowy	11,5dB (QPSK 1/2) 20,5dB (16QAM 2/3)
Wysokość anteny odbiorczej	1,5 m.n.p.t
Procent pokrycia	90 %
Antena odbiorcza	Zewnętrzna: G = -3dBd
Emin	80 dBμV/m (A, QPSK) 95 dBμV/m (B, QPSK) 89 dBμV/m (A, 16QAM) 108 dBμV/m (B, 16QAM)

W analizie uwzględniono charakterystyki odbiornika, opóźnienia sygnałów OFDM, sumowanie sygnałów użytecznych i zakłócających [6].

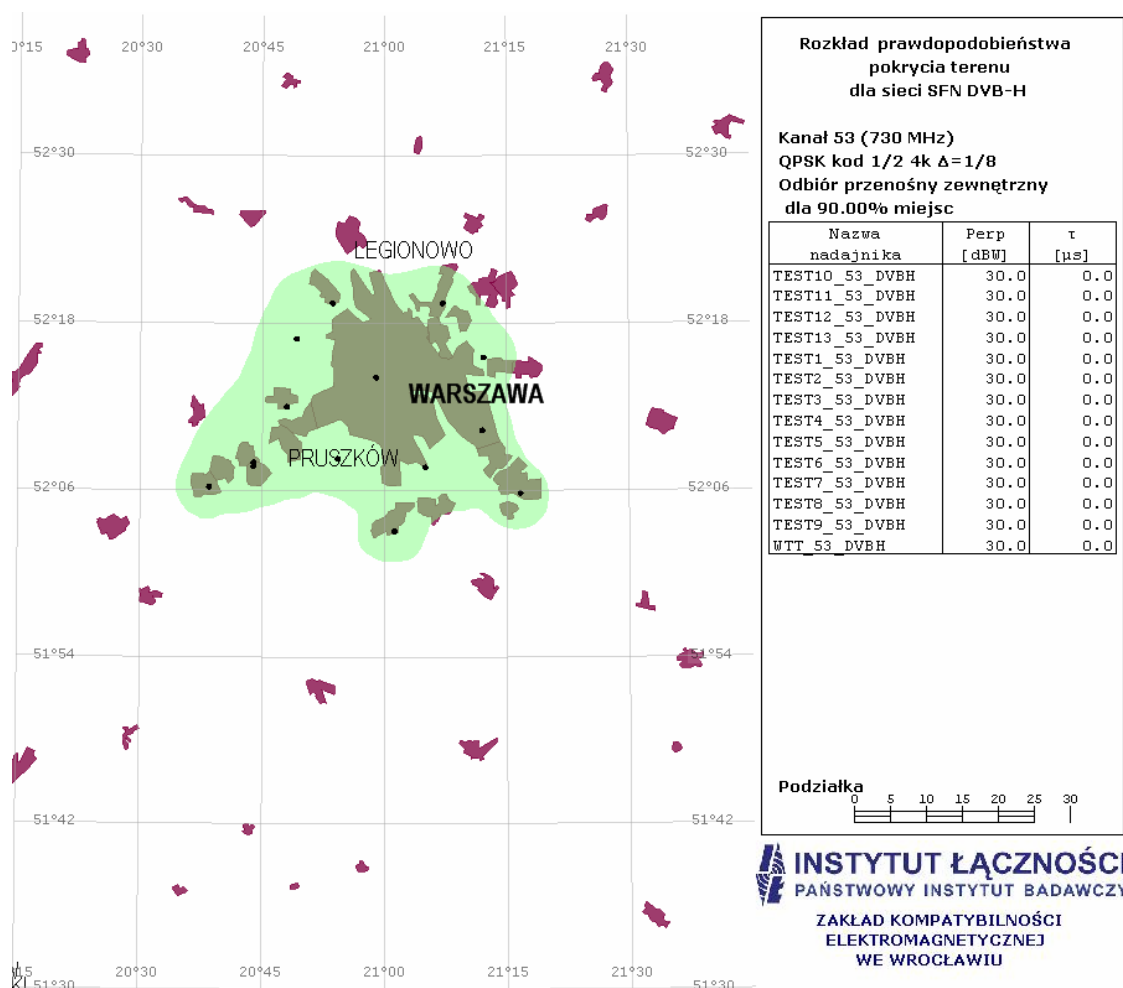
W pierwszym podejściu (Rysunek 1) wykonano analizę dla stacji o mocy 1kW ERP

DVB-H zlokalizowanej na wysokim maszcie, w tym samym miejscu co stacje analogowe i DVB-T (PKiN). Wypadkowy zasięg uwzględniający wymagania odbioru, antenę zewnętrzną terminala pokazano dla trybu transmisji: QPSK kod 1/2 (odbiór bardzo dobrze zabezpieczony, ale ograniczona dostępna przepływność sygnału).

W drugim przypadku (Rysunek 2) wykonano analizę dla sieci SFN zbudowanej w oparciu o stacje małej mocy (1kW ERP), nisko zawieszone, pracujące na zasadzie sieci jednoczęstotliwościowej SFN. Wykonano optymalizację sieci pod kątem zapewnienia satysfakcjonującego odbioru w aglomeracji warszawskiej. W samym centrum Warszawy możliwe jest zastosowanie nadajnika miejskiego na jednym z wysokich wieżowców tak jak pokazano na Rysunku 1 lub też ewentualnie zastosowanie zamiast niego kilku nadajników położonych w różnych częściach miasta w ramach tej samej sieci SFN.



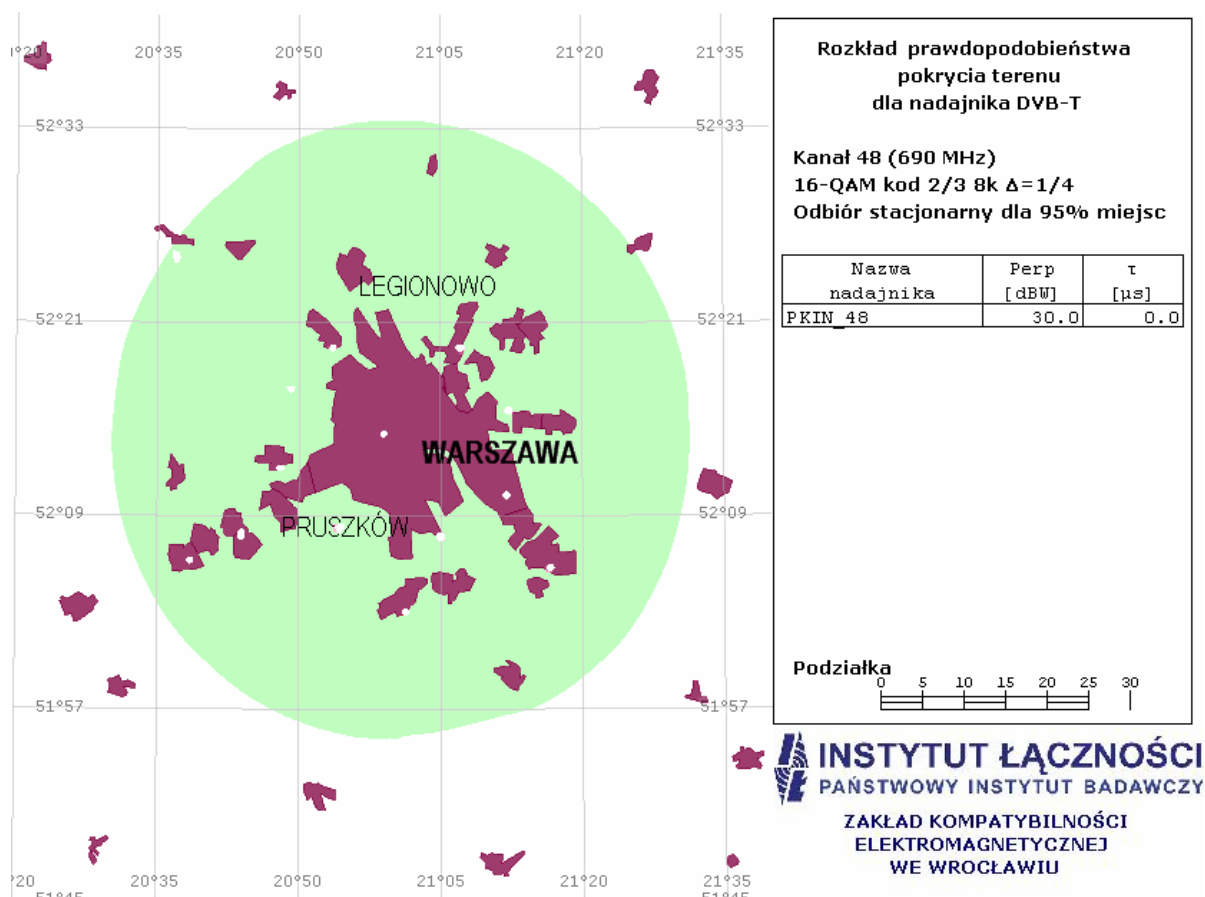
Rys.1. Zasięg stacji DVB-H ERP=1kW, PKiN



Rys.2. Zasięg sieci SFN DVB-H, ERP każdej stacji 1kW

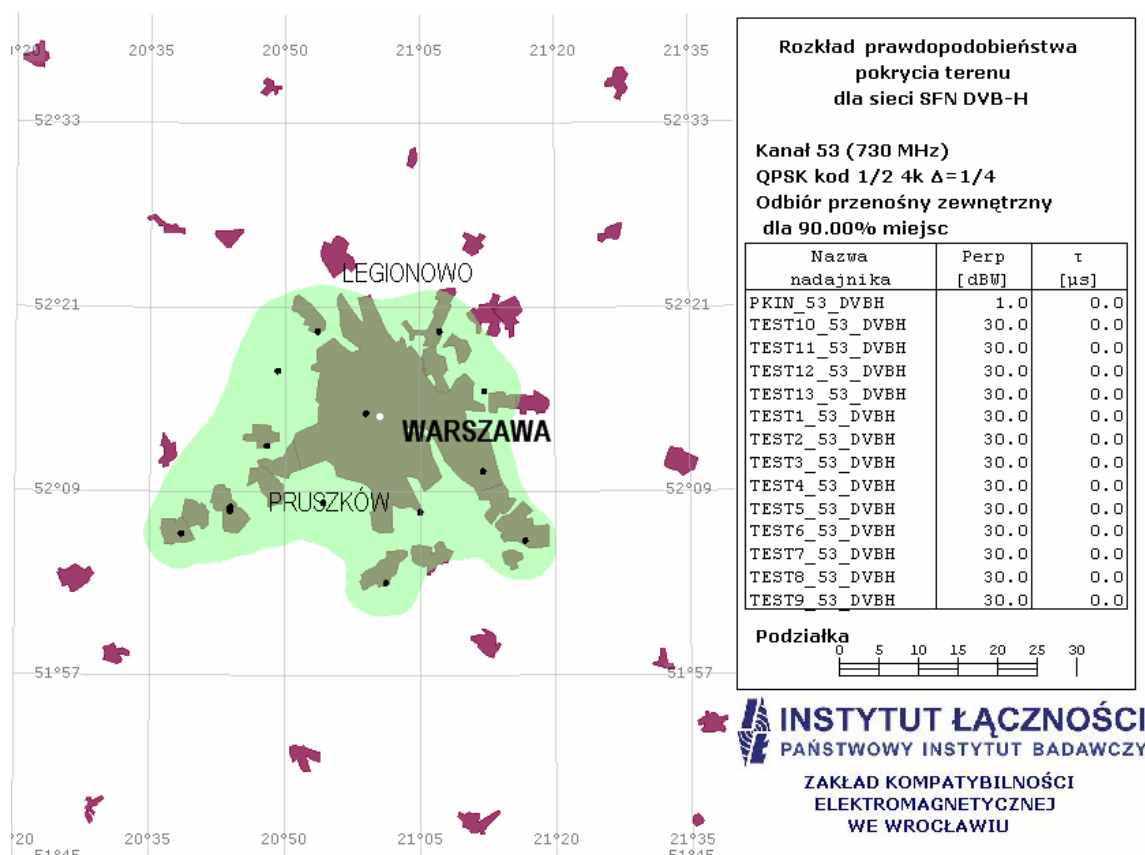
W obliczeniach uwzględniono odstęp ochronny 1/4 jednakże możliwe byłoby także stosowanie krótszych odstępów ochronnych, uwzględniając fakt zmniejszenia wypadkowego zasięgu sieci i koniecznością odpowiedniej optymalizacji parametrów sieci (opóźnień i mocy nadajników).

Główną zaletą konfiguracji pokazanej na Rysunku 1 jest z jednej strony możliwość zapewniania stosunkowo dobrego zasięgu za pomocą tylko jednego nadajnika, który przy zwiększonej do 10kW mocy ERP zapewnia poprawny odbiór w całej aglomeracji warszawskiej, z drugiej strony lokalizacja w tym samym miejscu sąsiedniokanałowych emisji DVB-T zapewnia proste uzyskanie warunków kompatybilności. W przypadku sieci SFN o lokalizacjach stacji w innych niż stacje DVB-T miejscach (Rys. 2) powstają problemy zakłóceń między oboma sieciami w miejscu lokalizacji stacji DVB-H wskazane na Rys. 3 i 4 (białe dziury w zasięgu o średnicy do kilkuset metrów).



Rys.3. Zasięg stacji DVB-T uwzględniający zakłócenia od stacji DVB-H (białe dziury w zasięgu)

Podobna sytuacja występuje w drugą stronę, gdzie wokół stacji DVB-T powstaje lokalna dziura w zasięgu sieci DVB-H (Rys. 4).



Rys.4. Zasięg sieci SFN DVB-H uwzględniający zakłócenia od nadajnika DVB-T (biała dziura)

4 Wnioski

Uruchomienie emisji DVB-H w Polsce w początkowym okresie możliwe będzie jedynie lokalnie, np. w wybranych aglomeracjach. Ogólnokrajowa sieć DVB-H wymaga wyłączenia telewizyjnych emisji analogowych. Prowadzone w Instytucie Łączności prace [] wskazały iż jest możliwe wskazanie częstotliwości spoza planu GE06, które z powodzeniem mogą być wykorzystane do emisji DVB-H na terenie aglomeracji miejskich a w późniejszym czasie mogą one być rozwijane do pokrywania większych obszarów.

Możliwe jest uzyskanie satysfakcjonującego pokrycia aglomeracji zarówno za pomocą jednego nadajnika dużej mocy zlokalizowanego w centrum miasta jak też za pomocą sieci nadajników małej mocy współpracujących w ramach sieci SFN.

Projektowanie sieci SFN DVB-H musi uwzględniać precyzyjne analizy interferencji własnych sieci i statystyczne sumowanie sygnałów użytecznych i zakłócających oraz uwzględniania zakłóceń pochodzących od innych sieci zarówno analogowych jak i cyfrowych DVB-T.

W przypadku stosowania innej struktury sieci do emisji DVB-T a innej do DVB-H czyli np. stosowania do emisji DVB-T stacji dużej mocy a do emisji DVB-H sieci stacji małej mocy w innych lokalizacjach konieczne będzie uwzględnianie wzajemnych zakłóceń między oboma sieciami w sąsiednich (i nie tylko) kanałach: w pobliżu nadajników pojawią się problemy uzyskania wzajemnej kompatybilności i stąd konieczne będzie precyzyjne planowanie lokalizacji stacji DVB-H w stosunku do stacji DVB-T, które zapewni brak zakłóceń do instalacji odbiorczych DVB-T i na odwrót.

Uzyskanie wzajemnej kompatybilności sieci można też osiągnąć stosując wspólną emisję DVB-T i DVB-H z tych samych obiektów: zapewniając odpowiednie wzajemne proporcje między oboma sygnałami w całym obszarze sieci. Z drugiej strony odbiór DVB-T nie wymaga stosowania gęstej struktury sieci nadajników (stosunkowo niskie wymagania na minimalne natężenie pola elektrycznego) a odbiór DVB-H taką strukturę niemal narzuca (z powodu konieczności zapewniania wysokiego natężenia pola) w przypadku sieci obejmujących duże obszary, stąd oczekiwanie identycznej struktury obu sieci może być niewskazane.

W przypadku implementacji sieci DVB-H w obszarach przygranicznych konieczne jest zapewnienie kompatybilności z sieciami krajów sąsiednich. Pomocne może być w tym stosowanie procedur badania zgodności z Planem opisanych w Porozumieniu GE'06 [4] oraz odpowiednie planowanie rozmieszczenia obiektów pod kątem optymalizacji zasięgu i minimalizacji zakłóceń.

Zaprezentowane problemy wzajemnej kompatybilności stacji dużej mocy DVB-T i sieci małej mocy DVB-H dotyczą także wzajemnej kompatybilności dwóch sieci DVB-T: jednej wykorzystującej stacje dużej mocy i drugiej: wykorzystującej stacje małej mocy pracujące w SFN. Również w takim przypadku pojawią się problemy zakłóceń w kanałach sąsiadujących wskazane w niniejszej pracy.

Biorąc pod uwagę zaprezentowane wyniki należy podkreślić konieczność precyzyjnego planowania sieci przed jej uruchomieniem i uwzględnianie każdorazowe właściwej, zastosowanej struktury sieci. Odpowiednie prace projektowe i analityczne pozwolą z wyprzedzeniem na odpowiednią eliminację lub zmniejszenie powstających problemów wzajemnych zakłóceń.

Literatura

- [1] EBU Tech 3317 Planning parameters for hand-held reception, Genewa, December 2006
- [2] ETSI EN 300 744; Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, ETSI, 2004
- [3] ETSI EN 302 304 Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H) ETSI, 2004
- [4] 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), Genewa, June, 2006
- [5] ITU-R Recommendation P.1546-2, Method for Point-to-Area Predictions for Terrestrial Services in the Frequency Range 30 MHz to 3 000 MHz, Geneva 2003
- [6] Praca zbiorowa pod kier. D. Więcka: Metody optymalnego wykorzystania widma radiowego przez sieci naziemne radiodifuzji cyfrowej, Sprawozdanie nr Z21/21300015/951/05, Instytut Łączności, Warszawa-Wrocław 2005
- [7] Sobolewski J., Więcek D.: Planowanie sieci jednoczesotliwościowej DVB-T, KKRRiT 2005, Kraków
- [8] Więcek D.: Ograniczenia planowania i projektowania rozległych sieci jednoczesotliwościowych SFN telewizji DVB-T, KKRRiT'2006, Poznań, czerwiec 2006

- [9] Więcek D.: Wybrane aspekty techniczne planowania sieci DVB-T, KKRRiT 2003, Wrocław, 2003
- [10] Pekka Talmola “Finding the Right Frequency: Impact of Spectrum availability upon the Economics of Mobile Broadcasting” IET SEMINAR ON RF FOR DVB-H/DMB MOBILE BROADCAST, June, 2006
- [11] Więcek D., Praca zespołowa pod kierunkiem., Optymalizacja wykorzystania widma częstotliwości na potrzeby emisji DVB-H, Sprawozdanie Z21/21400646/1048/07, Wrocław, marzec 2007

Zadanie 3.

Wymagania widmowe i aspekty kompatybilności elektromagnetycznej cyfrowych profesjonalnych systemów radiokomunikacyjnych

1 Wstęp

Rozwój radiokomunikacji zmierza w kierunku wprowadzania nowych systemów, oferujących użytkownikom coraz szerszy zakres usług. Na forum międzynarodowym podjęto działania zmierzające z jednej strony do wprowadzenia nowych technologii (np. WiFi czy WiMax), zaś z drugiej strony do zastąpienia aktualnie działających systemów analogowych nowymi cyfrowymi systemami wąskopasmowymi i szerokopasmowymi (sieci PMR/PAMR). W związku z przeobrażeniami sektora radiokomunikacyjnego konieczna jest stała rewizja strategii zagospodarowania widma przeznaczonego dla nowych systemów, określenie warunków ich kompatybilności z systemami już istniejącymi a przez to określenie możliwości ich rozwoju.

Proces zmian w alokacji widma jest procesem ciągłym, tak jak nieustannie trwa rozwój systemów radiowych. Tylko prowadzenie stałej i nieprzerwanej analizy trendów rozwojowych pozwala na unikanie pułapek polegających na nieprzygotowaniu w odpowiednim czasie do zagospodarowania nowych (bądź odzyskiwanych) zasobów widmowych przez upoważnione organy państwowe.

Należy przy tym zwrócić uwagę na to, że poza publikacjami i ekspertyzami IŁ istnieje niewiele ogólnodostępnych publikacji (w języku polskim) dotyczących szczegółowych prognoz możliwości i sposobu przekształcenia się systemów trzeciej generacji w systemy czwartej i kolejnych generacji oraz prognoz dotyczących możliwości implementacji w określone zakresy częstotliwości profesjonalnych systemów cyfrowych, zarówno wydzielonych do użytku dla ściśle określonych grup użytkowników (PMR) jak i przeznaczonych dla publicznego dostępu (PAMR).

W ramach bieżącego zadania przeprowadzona będzie dalsza analiza sposobu zagospodarowania widma w Europie w odniesieniu do kolejnych służb/systemów stanowiących źródło, a zarazem przedmiot potencjalnych zakłóceń w stosunku do nowo wprowadzanych systemów. W odniesieniu do tych systemów sprecyzowane zostaną scenariusze powstawania interferencji i określone będą założenia kompatybilności międzysystemowej. Problemy poruszane tutaj dotyczą jedynie systemów PMR/PAMR, natomiast nie dotyczą systemów bezpieczeństwa publicznego (np. TETRA-Emergency czy TEDS) oraz systemów dotyczących katastrof i klęsk żywiołowych (BBDR).

2 Europejska strategia wykorzystania widma dla potrzeb systemów PMR/PAMR

Zainicjowany na forum europejskim proces przejścia z techniki analogowej do cyfrowej zaowocował powstaniem dwóch decyzji CEPT dotyczących wprowadzania nowych wąsko- i szerokopasmowych cyfrowych systemów PMR/PAMR [1, 2]. Systemy takie mają

być wprowadzane do użytku w Europie w perspektywie 2013 roku. Decyzje [1, 2] identyfikowały zakresy widma częstotliwości radiowych, w których mają być implementowane nowe systemy cyfrowe. Są to zakresy:

- 68-87,5 MHz,
 - 146-174 MHz,
 - 406,1-410 MHz,
 - 410-430 MHz,
 - 440-450 MHz,
 - 450-470 MHz;
- dla cyfrowych systemów wąskopasmowych, oraz

- 410-430 MHz i/lub,
 - 440-450 MHz i/lub,
 - 870-876/915-921 MHz;
- dla szerokopasmowych systemów PMR/PAMR.

Wyniki analiz trendów rozwoju systemów PMR/PAMR pokazują, że tylko część istniejących systemów analogowych będzie zcyfrowzana, przy czym najszybciej przebiegać będzie migracja systemów dużych. W pierwszym kroku nastąpi migracja systemów analogowych w kierunku cyfrowych systemów wąskopasmowych, a następnie w wyniku zapotrzebowania na usługi cyfrowe o dużej przepływności – w kierunku systemów szerokopasmowych.

Cyfrowe systemy wąskopasmowe w zasadzie powinny oferować transmisję zcyfrowanego głosu czy transmisję danych o małej szybkości, jak np. predefiniowanych informacji o charakterze statusu, formularzy, komunikatów, dostęp do bazy danych itp. Możliwe jest oferowanie nowych usług, takich jak poszukiwanie danych, automatyczna lokalizacja pojazdów, transfer danych, czy zarządzanie flotą pojazdów. Ze względu na powszechność takich usług oraz aspekty operacyjne i finansowe oczekuje się raczej działania kilku wielkich systemów na dużym obszarze niż wielu niezależnych małych systemów.

Oczekuje się, że techniki szerokopasmowe umożliwią systemom PMR/PAMR przesyłanie danych z przepływnością rzędu setek kilobitów na sekundę (np. 384 – 500 kb/s). Nowe aplikacje pozwolą na przesyłanie dużych pakietów danych, połączenia wideo i transmisje oparte na protokole Internetowym. Od systemów takich spodziewa się dużej dostępności i elastyczności działania. Nowych funkcjonalności wraz ze znacznym wzrostem pojemności można oczekiwać od systemów rozległopasmowych, które zaoferować mogą jeszcze większe przepływności danych oraz transmisje obrazów o większej rozdzielczości. Takie systemy pracować jednak będą w zakresach powyżej 2 GHz.

Przedstawiona poniżej strategia wykorzystania widma w Europie dla potrzeb systemów PMR/PAMR oparta jest na analizie przedstawionej w sprawozdaniu [3] oraz wynikach obrad Grupy Gospodarki Widmem CEPT WG FM. Szczególnemu zainteresowaniu podlegają następujące zakresy częstotliwości, zidentyfikowane w Decyzjach [1, 2]:

- 68-87,5 MHz,
- Zakres ten istotny jest dla systemów wykorzystywanych przez np. policję, służby pożarnicze, różnych użytkowników publicznych, radio-taxi, itp. Częstotliwości nie są zharmonizowane w ramach europejskich. Stosowane są różne odstępy dupleksowe i szerokości kanałów

radiowych. We Francji zcyfryzowana jest narodowa sieć dla użytku rządowego (RUBIS/TETRAPOL). W Polsce zakres ten jest użytkowany przez cywilne sieci dyspozytorskie, reportażowe oraz wojsko. Z racji intensywnego wykorzystania tego zakresu w Europie przez rozlicznych użytkowników eksploatujących tradycyjne sieci PMR, nie jest możliwa harmonizacja jego użycia w przewidywalnej przyszłości. W dalszej perspektywie może być on przeznaczony dla potrzeb wojska.

Cechy charakterystyczne:

- intensywne użytkowanie przez PMR/PAMR,
- w wielu krajach wykorzystywany niezgodnie z Zaleceniem CEPT T/R 25-08 [4],
- istotne jest sąsiedztwo zakresu przeznaczonego dla radiodyfuzji (87,5 – 108 MHz).

- 146-174 MHz,

Oprócz systemów profesjonalnych zakres ten używany jest przez morskie służby ruchome, służby ratunkowe i siły zbrojne wykorzystujące analogowe systemy radiowe – konwencjonalne i trunkingowe (MPT 1327/1343). W Polsce ma miejsce szczególnie intensywne wykorzystanie zakresu przez różne służby dyspozytorskie (PKP, służba zdrowia, w tym pogotowie ratunkowe), sieci monitoringu pojazdów, straż miejską, sieci zarządzania Urzędów Wojewódzkich, służby morskie i żeglugę śródlądową oraz wojsko.

Cyfryzacja tego zakresu w Europie rozpocznie się od końca 2008 roku, a więc już niedługo. Poszczególne administracje rządowe mają przeplanować (refarming) ten zakres zgodnie z Zaleceniem [4]. Oczekuje się wdrażania nowych technik cyfrowych.

Przy wykorzystaniu tego zakresu trzeba zwrócić uwagę na:

- intensywne użytkowanie przez PMR/PAMR,
- wykorzystywanie zgodnie z Zaleceniem [4] (odstęp dwupłeskowy i szerokość kanału),
- sąsiedztwo służby radioastronomicznej.

- 406,1-410 MHz,

Zakres przeznaczony w Europie dla systemów PMR/PAMR oraz zastosowań militarnych. W Polsce wykorzystywany przez wojskowe taktyczne linie radiowe. W niektórych krajach europejskich użytkowany przez służbę radioastronomiczną.

- 410-420/420-430 MHz,

Zakres głównie użytkowany przez systemy PMR/PAMR, takie jak analogowe (MPT 1327/1343) i cyfrowe (TETRA, TETRAPOL) systemy trunkingowe. Zakres ten jest preferowany do zastosowań cyfrowych przez Decyzje [1, 2]. Wykorzystanie tego zakresu różni się w poszczególnych krajach europejskich, w jednych używany jest cały zakres, w innych tylko część – w wielu krajach pewną część wydzielono dla potrzeb systemów PAMR.

W Polsce część zakresu przeznaczona jest dla zastosowań analogowych, część dla cyfrowych a część zajęta jest przez wojsko, które swoje zasoby ma zwolnić dla potrzeb cywilnych do końca 2008 roku.

Cechy charakterystyczne tego zakresu częstotliwości:

- użytkowanie przez wąskopasmowe systemy PMR/PAMR,
- zgodność z Zaleceniem CEPT T/R 25-08 [4] co do szerokości kanałów i odstępu dwupłeskowego,
- kompatybilność ze służbami radiolokalizacji pracującymi w niektórych krajach w podzakresie 420-430 MHz,
- wojskowe wykorzystanie zakresu (lub jego części) w niektórych krajach Europy.

- 440-450 MHz,

Zgodnie z Europejską Tablicą Przeznaczeń Częstotliwości i Zastosowań [5] oraz Zaleceniem [4] zakres ten jest przeznaczony do simpleksowego wykorzystania w analogowych lub cyfrowych systemach PMR a w niektórych krajach dla systemów trunkingowych z odstępem dwupleksowym 5 MHz. W kilku krajach część zakresu przeznaczona jest do zastosowań wojskowych. Poszczególne Administracje łączności planują przeplanowanie (refarming) tego zakresu zgodnie z postanowieniami Zalecenia [4].

Niewielka część zakresu (podzakres 446,0-446,1 MHz), zgodnie z Decyzją ERC DEC (98)25 [6] i ECC DEC (05)12 [7], jest przeznaczona dla pracy urządzeń radiowych niewymagających pozwolenia (system PMR 446), natomiast podzakres 445,2-445,3 MHz jest używany dla potrzeb połączeń bezpośrednich (ang. DMO, direct mode operation) – w myśl Decyzji ERC DEC (01)21 [8] oraz ECC DEC (06)06 [2].

W Polsce zakres ten wykorzystywany głównie przez wojsko, jedynie dwa niewielkie podzakresy użytkowane są przez służby cywilne i niezależnych użytkowników (446,0-446,1 MHz - PMR 446 oraz 449,5125-449,9750 MHz - PMR).

Istotne sprawy dotyczące tego zakresu:

- zastosowanie militarne w kilku krajach CEPT,
- kompatybilność z systemami radiolokalizacji pracującymi w niektórych krajach,
- szybki rozwój systemu PMR 446 – wzrost o ok. miliona terminali rocznie.

- 450-460/460-470 MHz,

Zakres ten w Europie jest najczęściej wykorzystywany dla potrzeb analogowych (MPT 1327/1343) i/lub wąskopasmowych cyfrowych (TETRA, TETRAPOL) systemy trunkingowych, zgodnie z Decyzjami ERC DEC (96)04 [9] oraz ECC DEC (06)06 [2].

Kilka krajów, przeznaczyło część tego zakresu dla cyfrowych szerokopasmowych systemów PMR/PAMR, zgodnie z Decyzją ECC DEC (04)06 [1]. W niektórych krajach europejskich należy zreorganizować wykorzystanie tego zakresu zgodnie z aranżacją kanałową przedstawioną w Zaleceniu [4]. Co prawda w wyniku obrad Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej WRC'07 (dotyczących punktu 1.4 Agendy) wprowadzono poprawkę do zapisów Art. 5 Regulaminu Radiokomunikacyjnego, że zakres ten może być wykorzystany dla potrzeb systemów IMT, jednak nie przesadza to możliwości używania go przez cyfrowe systemy PMR/PAMR.

W Polsce, duży podzakres (452,5-457/462,5-467 MHz) przydzielony jest dla potrzeb systemów CDMA pracujących w służbie stałej, inne podzakresy wykorzystywane są przez analogowe sieci trunkingowe, pokładową łączność w służbie ruchomej morskiej - 5 kanałów o szerokości 12,5 kHz - oraz wojsko. Użytkowanie systemów CDMA pracujących w służbie stałej wprowadzono w roku 2005 (Zarządzenie nr 18 Prezesa URTiP) i potwierdzono (umowa UKE – PTK Centertel) w roku 2007. Przydział ten nie był i nadal nie jest zgodny z zapisami Europejskiej Tablicy Przeznaczeń [5] i uniemożliwia wprowadzenie w tym podzakresie zarówno szerokopasmowych cyfrowych systemów PMR/PAMR jak i systemów IMT – 450.

Najważniejsze problemy występujące w tym zakresie to:

- kompatybilność z systemami radiolokalizacji pracującymi poniżej, w zakresie 440 – 450 MHz,
- kompatybilność z systemami radiodifuzyjnymi (telewizja) pracującymi powyżej, na częstotliwościach większych niż 470 MHz,
- intensywne użytkowanie zakresu przez systemy PMR w niektórych krajach europejskich,
- wykorzystanie zakresu zgodnie z Zaleceniem [4] – szerokości kanałów i odstęp dwupleksowy.

• 870-876/915-921 MHz,

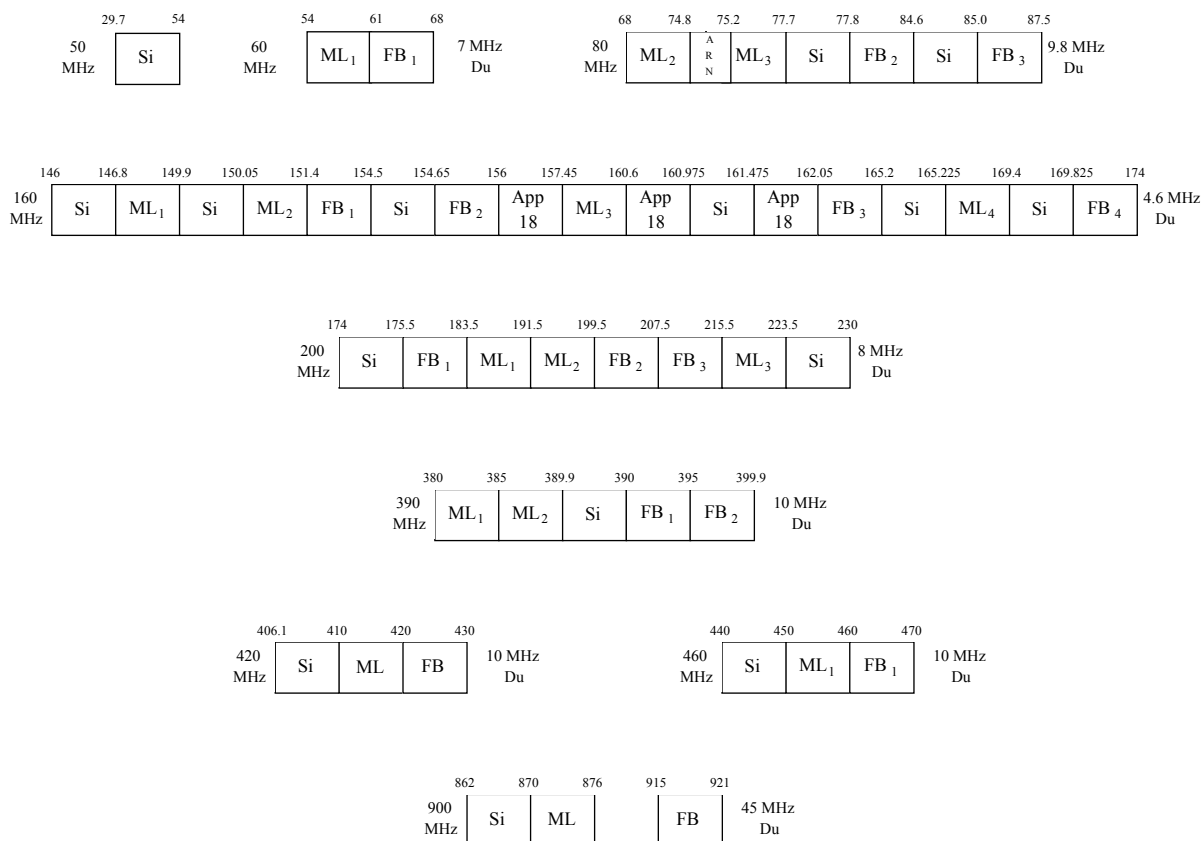
W tym zakresie przewiduje się powszechne użycie szerokopasmowych technik PMR/PAMR zgodnie z Decyzjami [1 i 9] oraz Zaleceniem [4]. Jednakże w Europie zakres jest identyfikowany jako preferowany dla wojskowych taktycznych linii radiowych, w szczególności dla operacji przygranicznych. W Sprawozdaniu [5] zaleca się współużytkowanie zakresu przez służby cywilne i wojskowe.

W Polsce podzakres 870-875 MHz przeznaczony jest dla systemów SRDA (CDMA) pracujących w służbie stałej, a więc niezgodnie z Europejską Tablicą Przeznaczeń [5], nie można więc wprowadzić tam szerokopasmowych systemów PMR/PAMR, mimo że podzakres 915-921 MHz nie jest obecnie wykorzystywany, ponieważ zgodnie z [4] niezbędny dla nich jest odstęp dupleksowy 45 MHz.

Typowe problemy napotymane w Europie w tym zakresie to:

- kompatybilność z systemami GSM pracującymi w sąsiednich zakresach,
- współużytkowanie widma z systemami wojskowymi (na określonym obszarze i w ramach określonych częstotliwości).

Zalecane sposoby wykorzystania wymienionych powyżej zakresów częstotliwości przez obecne i przyszłe systemy PMR/PAMR przedstawione są na rys. 1, [4].



Oznaczenia:

- ARN Radionawigacja lotnicza (ILS/Marker radiolatarnie)
- Du Praca duplexowa
- FB Stacja bazowa
- ML Stacja ruchoma
- Si Praca simpleksowa
- App 18 Użycie zgodnie z Dodatkiem 18 Regulaminu Radiokomunikacyjnego "Tablica częstotliwości nadawczych w służbie ruchomej morskiej w paśmie VHF"

Rys.1 Zalecane odstępy dupleksowe, wykorzystanie i położenie dolnych, górnych i simpleksowych pasm dla systemów PMR/PAMR.

3 Problemy kompatybilności profesjonalnych systemów ruchomych

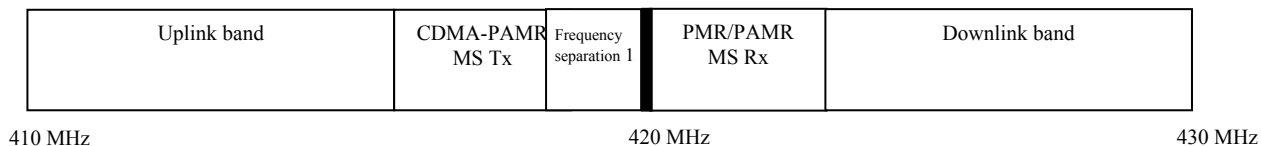
Kompatybilność wewnętrzna cyfrowych systemów PMR/PAMR stanowi problem własny dla każdego z operatorów systemów. Nieco inna sytuacja się tworzy, gdy systemy te „zanurza się będzie” w określonym, istniejącym dotychczas środowisku elektromagnetycznym, gdzie pracują systemy analogowe oraz w przypadku, gdy przewiduje się współużytkowanie pewnych pasm częstotliwości lub wykorzystywanie sąsiednich pasm przez PMR/PAMR oraz inne systemy cyfrowe. Jak dotychczas nie wszystkie przypadki sąsiedztwa cyfrowych radiokomunikacyjnych systemów profesjonalnych oraz systemów innych zostały zbadane pod względem kompatybilności (np. PMR/PAMR – służba radioastronomiczna) i nie we wszystkich przedstawionych powyżej zakresach częstotliwości. Jednak rozpatrzone zostały problemy związane z największymi systemami używanymi obecnie i projektowanymi do wprowadzenia w bliskiej przyszłości w pasmach 400 i 900 MHz. Współużytkowanie tych samych zakresów częstotliwości w paśmie 400 MHz, po wprowadzeniu systemów cyfrowych, rozpatrywane było przez Grupę Inżynierii Widma CEPT a wyniki opublikowano w ECC Sprawozdaniu 39 [10].

Rozpatrzone zostały tam różne scenariusze oddziaływania wzajemnego nowo wprowadzanych systemów CDMA-PAMR oraz systemów analogowych PMR/PAMR z modulacją częstotliwości i o szerokościach kanałów 12,5 i 25 kHz. Scenariusze te przedstawiono na rysunku 2.

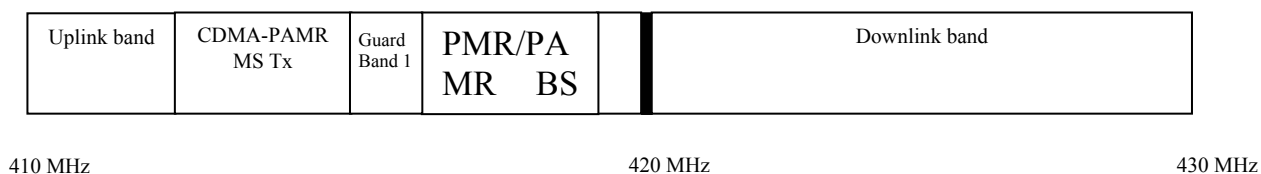
Przeprowadzone analizy wprowadzania możliwych szkodliwych zakłóceń wykazały, że ryzyko ich powstania (przy oddziaływaniu wzajemnym) w powyższych zakresach jest minimalne jedynie w przypadkach scenariuszy 1, 2 i 3, jakkolwiek czasem niezbędne jest użycie technik ograniczających zakłócenia. Jednak wzajemne oddziaływanie stacji pracujących wg scenariusza 4. wymaga wprowadzenia istotnych pasm ochronnych i separacji częstotliwościowej. I tak należy stosować:

- pasmo ochronne o szerokości 200 kHz pomiędzy podzakresami przeznaczonymi dla łącz w górę (UL, MS → BS) oraz dla łącz w dół (DL, BS → MS),
- separację częstotliwościową 125 kHz – lub nieco mniejszą – dla częstotliwości dwupasmowych pomiędzy pasmami przeznaczonymi dla DL i UL (MS → MS), separacja 1 – rys. 2,
- minimalną separację częstotliwościową 1875 kHz dla częstotliwości dwupasmowych pomiędzy pasmami przeznaczonymi dla DL i UL (BS → BS) separacja 2 – rys. 2.

Scenariusz 1, przypadek MS - MS



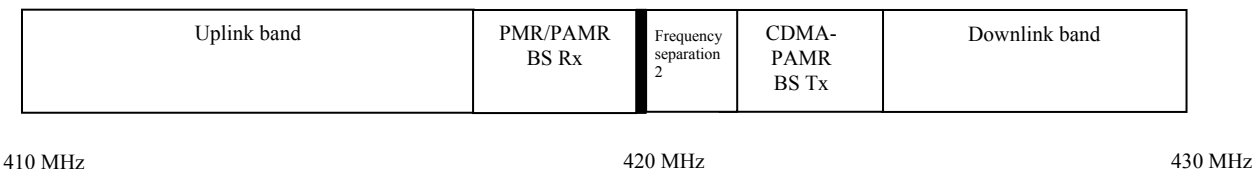
Scenariusz 2, przypadek MS - BS



Scenariusz 3, przypadek BS - MS



Scenariusz 4, przypadek BS - BS



Rys.2. Przypadki różnych scenariuszy PMR/PAMR vs. CDMA-PAMR w zakresie 410-430 MHz, podobne scenariusze mają zastosowanie w zakresie 450-470 MHz

W obliczu wprowadzania systemów telewizji cyfrowej na częstotliwościach powyżej 470 MHz niezbędne było sprawdzenie kompatybilności pomiędzy różnymi, analogowymi i cyfrowymi systemami PMR/PAMR pracującymi w górnej części zakresu 450 – 470 MHz a systemem DVB-T zajmującym kanał 21 (470 – 478 MHz) [11]. Wyniki analiz wskazują na możliwość zaistnienia poważnych zakłóceń w obu kierunkach:

- każda stacja ruchoma pracująca w systemie PMR/PAMR będzie zakłócana przez DVB-T, przy czym oczywiście największe zakłócenia powstaną, gdy stacja MS znajdzie się w pobliżu telewizyjnej stacji nadawczej i będą odczuwalne nawet, gdy zastosowane zostaną środki zapobiegawcze, takie jak np. specjalna maska DVB-T przeznaczona dla sąsiedniego kanału, określona przez GE06. Problem będzie jeszcze poważniejszy, gdy stacja ruchoma znajdzie się na skraju zasięgu stacji bazowej,

- odbiorniki DVB-T będą zakłócone przez stację bazową PMR/PAMR, tutaj również będą najbardziej odczuwalne, gdy znajdują się w pobliżu stacji bazowej i na skraju zasięgu nadajnika DVB-T.

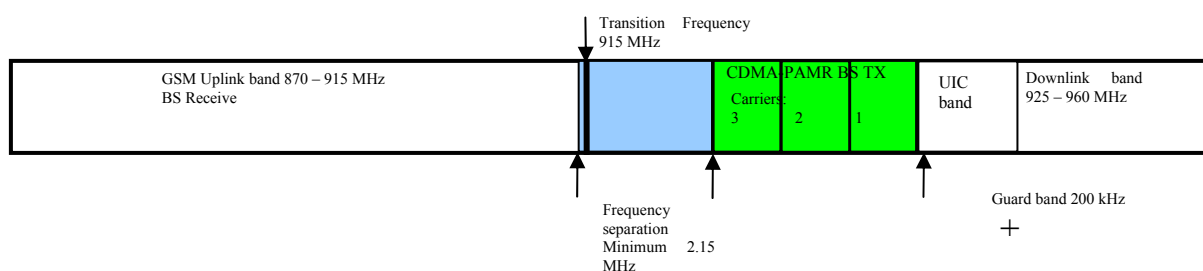
Można jednak wprowadzić środki techniczne zmniejszające wzajemne szkodliwe oddziaływanie. Są to:

- maski DVB-T (wspomniana wyżej, jedna z dwóch możliwych masek), przy czym zaleca się stosowanie maski „bardziej czulej”,
- wspólne umieszczanie nadajnika DVB-T i stacji bazowej PMR/PAMR, co wymaga stosowania specjalnych tłumików i odsprzężeń,
- pasmo ochronne – minimum 1 MHz odstępu pomiędzy pasmem wykorzystywanym przez nadajnik wysokiej mocy DVB-T a odbiornik PMR/PAMR. W przypadku ochrony odbiornika DVB-T należy stosować odstęp ochronny 1 MHz przed zakłóceniami od nadajników wąskopasmowych FM/TEDS i PMR/PAMR oraz 2 MHz od nadajników CDMA-1X PAMR,
- dyskryminacja kierunkowa anten połączona z sektoryzacją nadajników PMR/PAMR, skuteczna dla odbioru stacjonarnego DVB-T,
- jeżeli to możliwe należy stosować ortogonalne polaryzacje sygnałów DVB-T i PMR/PAMR,
- specjalna konfiguracja sieci DVB-T umożliwiająca, celem ochrony odbioru stacjonarnego, albo wzrost mocy nadajników – uwzględniając ograniczenia wprowadzone przez GE06 minimalizujące efekt zakłóceń, albo użycie specjalnych wariantów sieci pozwalających przy tej samej mocy nadajników na mniejszą przepływność transmisji.

W przypadku systemów PMR/PAMR używanych w paśmie 900 MHz istotnym było sprawdzenie kompatybilności sąsiedniokanałowej w stosunku do systemów krótkozasięgowych (SRD) pracujących poniżej 870 MHz i systemów GSM wykorzystujących częstotliwości powyżej 915 MHz.

Stwierdzono, [12], że w stosunku do systemów SRD (w szczególności do alarmów socjalnych pracujących na częstotliwości 869,25 MHz a więc blisko częstotliwości przeznaczonych dla PMR/PAMR) nie wymaga się żadnych pasm ochronnych ani separacji częstotliwościowych, gdyż ryzyko zakłóceń jest bardzo minimalne.

Analiza kompatybilności sąsiedniokanałowej pomiędzy systemami GSM a CDMA-PAMR pracującymi w otoczeniu 915 MHz przeprowadzona została w [13]. Założono tam, że celem wstępnego ograniczenia zakłóceń, wymagana jest wstępna separacja 2,15 MHz pomiędzy podzakresami przeznaczonymi dla pracy tych systemów, patrz rysunek 3.



Rys. 3. Kanały częstotliwościowe CDMA-PAMR pracujące w pobliżu 915 MHz i separacja w stosunku do GSM

W przypadku odstępu częstotliwości mniejszej niż 2,15 MHz stwierdzono bardzo duże trudności w ograniczaniu wzajemnych zakłóceń. Prawidłowy odbiór sygnałów GSM przez stacje bazowe warunkowany był trzema zjawiskami blokowania i intermodulacji 3. rzędu

w odbiorniku GSM i szumami szerokopasmowymi generowanymi przez nadajnik stacji bazowej CDMA-PAMR. Zjawiska te mają bezpośredni wpływ na wartość odległości separacyjnej pomiędzy odbiornikiem GSM a nadajnikiem (stacji bazowej) CDMA-PAMR.

Ustalono, że prawidłowa praca systemu GSM nastąpi, gdy minimalna odległość separacyjna wyniesie:

- 4,5 km w terenach miejskich,
- 9 km w terenach podmiejskich, i
- 25 km w terenach wiejskich

dla przypadku mikrokomórek z obu stron.

Jeżeli w grę będą wchodzić mikro- i pikokomórki, odległości separacyjne mogą być mniejsze. Zmniejszenie tych odległości nastąpić może, gdy na wejściu odbiornika GSM zastosuje się specjalne filtry (zmniejszenie wpływu intermodulacji i blokowania). Specjalne filtry na wyjściu nadajnika systemu CDMA-PAMR także te odległości zmniejszą, gdyż obniży się poziom niepożądanych emisji pozapasmowych.

4 Wnioski

W miarę rozwoju i wprowadzania do użytku różnych systemów radiowych nadal będą prowadzone odpowiednie badania kompatybilności międzysystemowej. Wyniki tych badań pozwalają administracjom łączności poszczególnych krajów prowadzić aktywną politykę obsadzania poszczególnych zakresów częstotliwości oraz ustalają reguły ich współużytkowania oraz bezkolizyjnego wykorzystania zakresów sąsiednich. Z punktu widzenia współpracy międzynarodowej ważne są też analizy prowadzące do ustalenia zasad użytkowania systemów PMR/PAMR w terenach przygranicznych – wymagana jest tam ich koordynacja. Parametry tych systemów oraz dopuszczalne odstępstwa odległościowe i częstotliwościowe ich elementów (terminali) stanowią temat odrębnych prac CEPT oraz różnych zespołów międzynarodowych.

Literatura

- [1] ECC, Decision of 19 March 2004 on the availability of frequency bands for the introduction of Wide Band Digital Land Mobile PMR/PAMR in the 400 MHz and 800/900 MHz bands, (ECC/DEC/(04)06),
- [2] ECC, Decision of 7 July 2006 on the availability of frequency bands for the introduction of Narrow Band Digital Land Mobile PMR/PAMR in the 80 MHz, 160 MHz and 400 MHz bands, (ECC/DEC/(06)06),
- [3] ECC, Report 25, Strategies for the European Use of Frequency Spectrum for PMR/PAMR Applications, Stavanger, May 2003,
- [4] CEPT, Recommendation T/R 25 08 (Lecce 1989, revised in Vienna 1999, revised in Utrecht 2005), Planning Criteria and Coordination of Frequencies in the Land Mobile Service in the Range 29.7 921 MHz,
- [5] ERC, Report 25, The European Table of Frequency Allocations and Utilisations in the Frequency Range 9 kHz to 1000 GHz, Lisboa 02- Dublin 03- Kusadasi 04- Copenhagen 04- Nice 07,

- [6] ERC, Decision of 23 November 1998 on the harmonised frequency band to be designated for PMR 446, (ERC/DEC/(98)25),
- [7] ECC, Decision of 28 October 2005 on harmonised frequencies, technical characteristics, exemption from individual licensing and free carriage and use of digital PMR 446 applications operating in the frequency band 446.1- 446.2 MHz, (ECC/DEC/(05)12),
- [8] ERC, Decision of 12 March 2001 on harmonised frequency band to be designated for the Direct Mode Operation (DMO) of the Digital Land Mobile Systems, ERC/DEC/(01)21,
- [9] ERC, Decision of 7 March 1996 on the frequency bands for the introduction of the Trans European Trunked Radio System (TETRA), (ERC/DEC/(96)04),
- [10] ECC, Report 39, The Technical Impact of Introducing CDMA-PAMR on 12.5 / 25 kHz PMR/PAMR Technologies in the 410-430 and 450-470 MHz bands, Granada, February 2004,
- [11] ECC, Report 104, Compatibility Between Mobile Radio Systems Operating in the Range 450-470MHz and Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T) System Operating in UHF TV Channel 21 (470-478MHz), Amstelveen, June 2007,
- [12] ECC, Report 40, Adjacent Band Compatibility between CDMA-PAMR MOBILE SERVICES and Short Range Devices below 870 MHz, Granada, February 2004,
- [13] ECC, Report 41, Adjacent Band Compatibility between GSM and CDMA-PAMR at 915 MHz, Granada, February 2004.

Zakończenie

W niniejszej pracy w ramach poszczególnych trzech głównych zadań :

- scharakteryzowano zaburzenia spotykane najczęściej w podziemnych wyrobiskach kopalni i wynikające stąd konsekwencje dla parametrów EMC pracujących tu urządzeń elektrycznych /elektronicznych,
- omówiono właściwe metody pomiarowe dla typowych zaburzeń spotykanych w kopalniach, zwracając uwagę na ograniczenia, możliwości wykorzystywania w tych pomiarach typowej aparatury pomiarowej, wynikające ze specyfiki fizycznych właściwości środowiska kopalni (np. duża wilgotność przy dość wysokiej temperaturze otoczenia),
- przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów zaburzeń w kilku punktach kopalni.
- przedstawiono podstawowe zasady obowiązujące w trakcie implementacji sieci małej mocy na przykładzie DVB-H, przeanalizowano problemy planowania, optymalizacji i kompatybilności systemu DVB-H.
- zaprezentowano problemy wzajemnej kompatybilności stacji dużej mocy DVB-T i sieci małej mocy DVB-H na przykładzie wybranego obszaru Warszawy.
- przeprowadzono analizę sposobu zagospodarowania widma w Europie w odniesieniu do kolejnych służb/systemów stanowiących źródło, a zarazem przedmiot potencjalnych zakłóceń w stosunku do nowo wprowadzanych systemów.

Ze względu na ograniczenia czasowe i finansowe niniejsza praca dotyczyła wybranych problemów kompatybilności elektromagnetycznej. Analiza kolejnych zagadnień i problemów z dziedziny EMC powinna być przedmiotem następnych prac.