

Perspektywy zagospodarowania widma radiowego w Polsce pod kątem implementacji radia kognitywnego

Maciej J. Grzybkowski

W artykule przeanalizowano zakresy częstotliwości, które mogą być wykorzystane w systemach radia kognitywnego, przy założeniu obecnych i planowanych przeznaczeń częstotliwości w Polsce (w tym także w kontekście przeznaczeń europejskich) oraz istniejącego planu zagospodarowania poszczególnych zakresów częstotliwości. Analizę przeprowadzono uwzględniając możliwość wprowadzenia sieci radia kognitywnego w wybranych częściach widma, w tym w pasmach licencjonowanych oraz nielicencjonowanych, w sposób scentralizowany lub rozproszony.

radio kognitywne, widmo częstotliwości radiowych, zakresy częstotliwości

Wprowadzenie

Istota gospodarki widmem opiera się, jak dotychczas, na utrzymywaniu ścisłych reguł rządzących sposobami obsady tego widma przez różne służby radiowe, a w konsekwencji przez różne systemy radiowe. Naczelną zasadą procesu zarządzania widmem jest utrzymanie trzech etapów działania: przeznaczenia zakresów częstotliwości, planowania (czy rezerwacji) częstotliwości oraz przydziałów częstotliwości. Utarło się powiedzenie, że etapy te podlegają tzw. regule 3P (przeznaczenia, planowanie, przydział), zgodnej z angielską 3A (*allocation, allotment, assignment*). W myśl tak sformułowanej zasady zarządzania przydziały częstotliwości dla systemów (sieci) radiowych następują po uprzedniej ich rezerwacji, która jest możliwa w z góry określonych wycinkach widma (zakresach częstotliwości), objętych stosownymi przeznaczeniami. W danym zakresie częstotliwości pracować mogą więc tylko takie służby radiowe, dla jakich ten zakres był przeznaczony. Współużytkowanie tych zakresów przez różne służby było ryzykowne, ze względu na konieczność przestrzegania zasad kompatybilności międzysystemowej. Stąd w początkach działalności regulacyjnej zakładano, że w danym zakresie częstotliwości pracować mogła tylko jedna służba, np. tylko radiodyfuzyjna lub tylko ruchoma lądowa.

W miarę rozwoju służb radiowych zaczęły występować braki wolnych (niezajętych dla potrzeb konkretnej służby radiowej) częstotliwości, w konsekwencji przeznaczano dla potrzeb poszczególnych służb coraz to nowe (najczęściej wraz z rozwojem techniki radiowej coraz to wyższe) zakresy częstotliwości. Ponadto wraz z rozwojem technik kompatybilnościowych zaczęto dopuszczać użytkowanie systemów różnych służb radiokomunikacyjnych w tym samym zakresie częstotliwości, np. radiodyfuzji i radiokomunikacji ruchomej – początkowo na zasadzie różnych ważności służb (pierwszej i drugiej ważności), później umożliwiając lokowanie w jednym zakresie kilku służb pierwszej i drugiej ważności. Jednak w praktyce współużytkowanie wielu różnych służb w jednym zakresie, na tym samym obszarze, było najczęściej niemożliwe ze względu na wzajemne zakłócenia. Stąd na obszarze jednego kraju, na terenie zarządzanym przez jedną administrację łączności, obsadzenie danego zakresu różnymi służbami radiowymi (pierwszej ważności) prawie zawsze nie mogło mieć miejsca. Natomiast dość często różne kraje, nawet sąsiadujące, dopuszczały możliwość pracy odmiennych służb radiowych w tym samym zakresie częstotliwości (np. w jednym kraju radiodyfuzja, a w drugim radiokomunikacja

ruchoma lądowa, RRL). Powodowało to konieczność uzgadniania sposobu pracy różnych systemów po różnych stronach granic państwowych celem uniknięcia szkodliwych zakłóceń, istotnych szczególnie na terenach przygranicznych.

Zasada eksploatacji służby jednego rodzaju (określonego typu systemu lub sieci radiowej) na tym samym obszarze, w tym samym zakresie częstotliwości, powodowała jednak zbyt ekstensywne zagospodarowanie widma. W celu uniknięcia wzajemnych zakłóceń wewnątrzsystemowych stosowano separację częstotliwościową lub obszarową sieci radiowych (czasem oba rodzaje razem), co dawało w efekcie powstawanie luk zarówno w pokryciu częstotliwościowym, jak i obszarowym.

Nowa polityka w obsadzaniu wybranych pasm częstotliwościowych (neutralność techniczna), postępująca konwergencja usług, a co za tym idzie konieczność elastycznej gospodarki zasobami widmowymi, spowodowały odwrócenie trendu „monokulturowego” sposobu zagospodarowania poszczególnych zakresów częstotliwości. Obecnie dopuszcza się implementację różnych systemów radiowych reprezentujących różne służby radiowe w tym samym zakresie częstotliwości pod warunkiem zachowania kompatybilności. Postępowanie takie ma na celu uzyskanie możliwie najbardziej efektywnego wykorzystania zasobów widmowych. Wypełnienie luk w pokryciu częstotliwościowym oraz obszarowym (dla porządku należy dodać, że w przypadku pracy z przerwami w czasie możliwe jest również zapełnianie luk czasowych) poprzez uruchamianie pracy innych, niż pierwotnie tam dedykowanych systemów radiowych, zapewnia bardziej wydajną eksploatację dostępnych zasobów widma na określonym terenie.

Wraz z rozwojem technik radiokomunikacyjnych oraz z rozwojem organizacji wykorzystania widma częstotliwości radiowych stało się możliwe zwiększenie efektywności wykorzystania widma, głównie dzięki postępowi w procesie zapewniania kompatybilności elektromagnetycznej i to zarówno w sferze sprzętowej (np. zwiększenie odporności odbiorników na zakłócenia, czy lepsza filtracja produktów modulacji pasożytniczych w nadajnikach), jak i w sferze programowo-sygnałowej (np. wprowadzenie do użytku nowych, cyfrowych technik modulacyjnych, stosowanie sygnałów ultraszerokopasmowych czy zaawansowanych technik kodowania sygnałów).

Radio kognitywne (radio poznawcze) doskonale wpasowuje się w postęp techniczny zapewniając, przy szybkim rozwoju techniki monitoringu stanu zajętości widma radiowego, możliwość bardzo efektywnego wykorzystania przestrzeni elektromagnetycznej.

Sposoby wykorzystania widma radiowego przez systemy radia kognitywnego

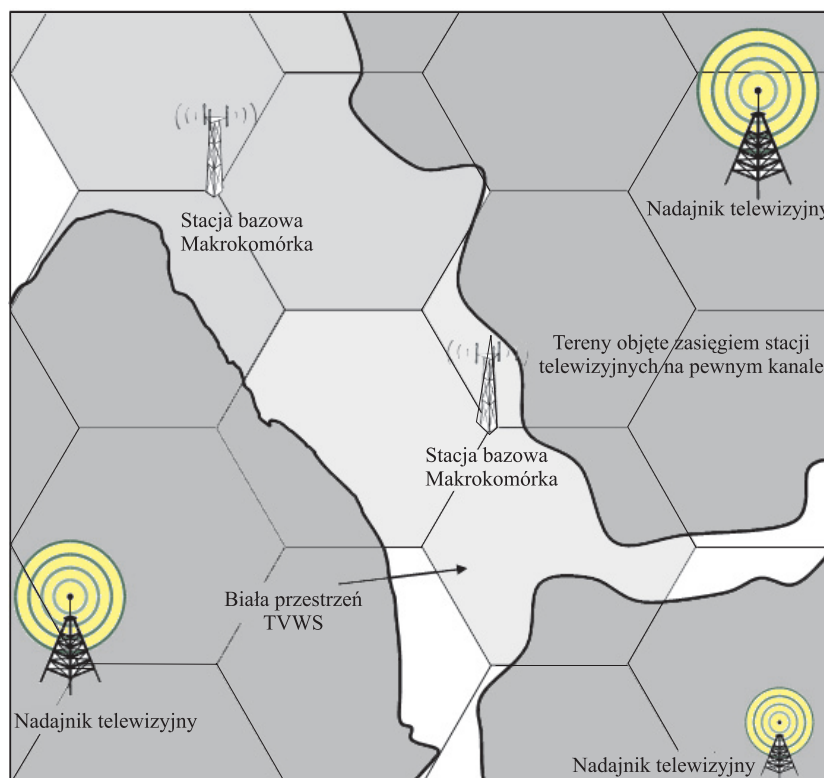
Współużytkowanie widma częstotliwości radiowych przez radio kognitywne może odbywać się na wielu płaszczyznach. Zwykle rozróżniane są cztery aspekty współużytkowania widma [1]: architektura systemów, sposób przeznaczenia widma, technika dostępu do widma oraz metoda współużytkowania.

Współużytkowanie rozpatrywane pod kątem architektury może być scentralizowane (wówczas przydział częstotliwości oraz procedury dostępowe są sterowane przez jakąś centralną jednostkę) lub rozproszone (przydział i dostęp podporządkowane są lokalnym prawom, które są odrębnie nadawane każdemu z węzłów sieci radiowej).

W aspekcie sposobu przeznaczenia widma na potrzeby radia kognitywnego dostęp do tego widma może być kooperacyjny bądź niekooperacyjny. W przypadku dostępu kooperacyjnego poszczególne częstotliwości są przydzielane użytkownikom widma w wyniku przetworzenia informacji o oddziaływaniu zakłóceń interferencyjnych pochodzących z jednego węzła na pracę innych węzłów radia kognitywnego. Natomiast w sytuacji, gdy dostęp jest niekooperacyjny analizowana jest sytuacja interferen-

cyjna w jednym węźle. Nie rozpatruje się wówczas zakłóceń oddziałujących na inne węzły. Powoduje to, co prawda, niezbyt optymalne wykorzystanie przestrzeni widmowej, ale ogranicza się przez to ruch w sieci spowodowany wymianą służbowej korespondencji międzywęzłowej.

Z analiz technik dostępu do widma wynika, że współużytkowanie może wystąpić w dwóch wariantach: jako eksploatacja nakładkowa (*overlay*) lub podkładowa (*underlay*). W przypadku współużytkowania nakładkowego, w danym zakresie częstotliwości węzły sieci radia kognitywnego (sieci wtórnej w stosunku do sieci pierwotnej – uprzednio wykorzystywanej, np. telewizji cyfrowej) eksploatują jedynie te części widma (podzakresy częstotliwości), które nie są wykorzystane przez głównych użytkowników tego zakresu, np. telewizję. Daje to minimalizację zakłóceń wprowadzanych do sieci pierwotnej przez sieć wtórną, jednak wymaga ścisłego przestrzegania reguł kompatybilności nie tylko wspólnokanałowej, lecz również sąsiednikanałowej. Podczas współużytkowania podkładowego wszyscy użytkownicy eksploatują pełny dostępny zakres częstotliwości, jednak sieć wtórna może wykorzystywać jedynie techniki ultraszerokopasmowe (z rozproszeniem widma, pracujące często poniżej poziomu szumów środowiskowych), po to aby nie powodować szkodliwych zakłóceń w sieci pierwotnego użytkownika tego zakresu.



Rys. 1. Wykorzystanie białych przestrzeni widma w paśmie TV przez systemy komórkowe pracujące w trybie radia kognitywnego. Zacieniono obszary zasięgiem stacji telewizyjnych na pewnym kanale. Pozostały obszar – to biała przestrzeń TVWS

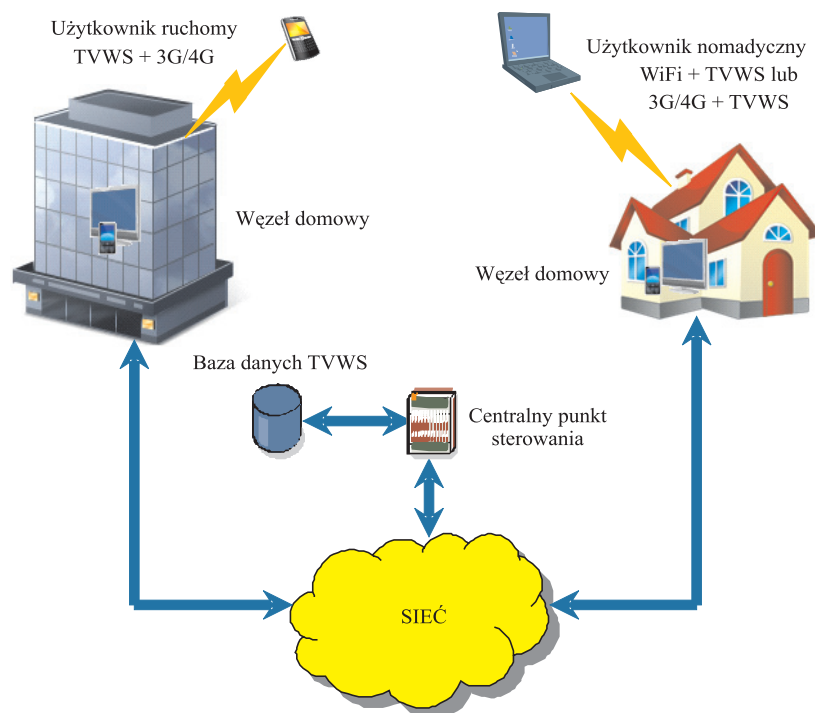
Współużytkowanie widma może być wewnątrzsieciowe, w ramach sieci jednego operatora radia kognitywnego lub zewnątrzsieciowe, gdzie na pewnym obszarze widmo może być eksploatowane przez

kilku operatorów radia kognitywnego. Klasyfikacja powyższa nie odnosi się do przypadków tzw. wtórnego rynku częstotliwości, gdy właściciel widma – nie wykorzystując go w pełni – odsprzedaje lub wynajmuje część swoich praw do użytkowania widma.

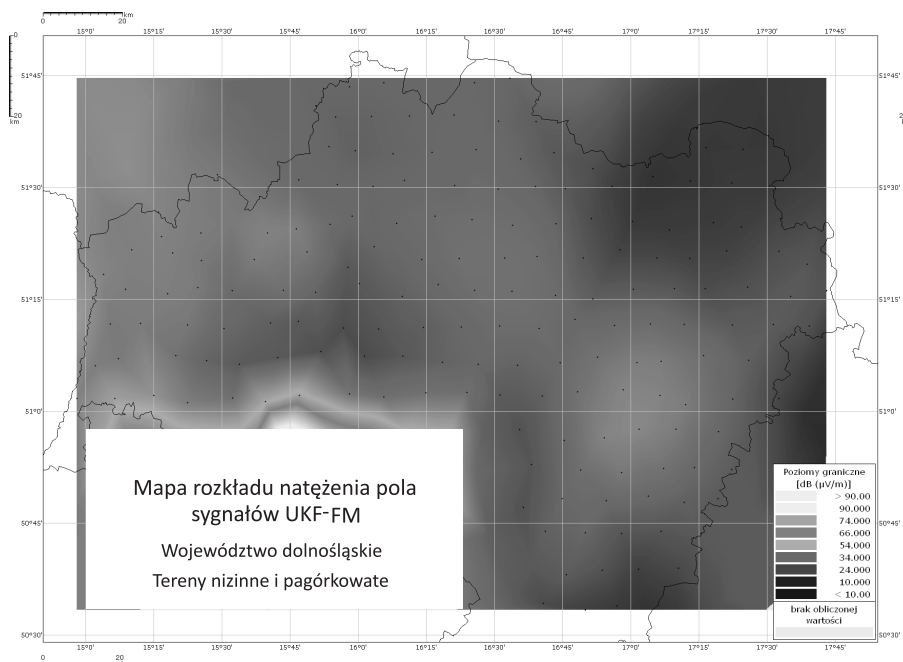
Ogólnie, użytkowanie systemów radia kognitywnego polega na wyszukaniu i zagospodarowaniu luk, tzw. białych przestrzeni (*white spaces*), w przestrzeni widma radiowego wykorzystywanego przez systemy radiowe pierwotnie użytkujące wybrane zakresy częstotliwości, zwane dalej systemami pierwotnymi. Sposoby wyszukiwania i zagospodarowania nie będą w niniejszym artykule omawiane, przedstawiony natomiast będzie przegląd zakresów częstotliwości, które potencjalnie mogą służyć do implementacji radia kognitywnego. Z samej zasady działania radia kognitywnego wynika, że nie wszystkie zakresy będą mogły być do tego celu użyte. Dotychczas zakładano, że radio kognitywne może być stosowane w zakresach częstotliwości aktualnie wykorzystywanych przez telewizję. W ramach europejskiego programu FP7 QUASAR dokonano próby określenia możliwości zastosowań radia kognitywnego w koegzystencji z niektórymi rodzajami służb radiowych i w ramach określonego typu środowiska [2]. Ustalono tam, że jednak najbardziej obiecującymi scenariuszami wprowadzenia radia kognitywnego do środowiska będą jego implementacje w pasmach zajętych przez systemy telewizyjne – gdzie na obszarach lukowych jako systemy wtórne można wdrożyć systemy komórkowe, (rys. 1), lub – podobne do WiFi – radiowe systemy dostępowe (rys. 2).

Wydaje się, że takie same systemy (komórkowe lub dostępowe) można wdrożyć w zakresach częstotliwości zajmowanych przez systemy radiofoniczne, gdzie, pomimo starannego planowania nadal występuje wiele luk w pokryciu (rys. 3) [3]. W obu przypadkach, tj. gdy pierwotnymi będą systemy radiowe lub telewizyjne, systemy wtórne mogą być rozwijane zarówno w otwartej przestrzeni, jak i w pomieszczeniach zamkniętych. W trakcie wykonywania programu QUASAR założono ponadto, że systemy radia kognitywnego mogą być implementowane również w zakresach częstotliwości zajmowanych przez pierwotne systemy radarowe (radiolokalizacja i radionawigacja) i lotnicze [2]. Jednak w takich przypadkach systemy wtórne mogą być używane jedynie w pomieszczeniach zamkniętych (rys. 4.), a w skrajnych przypadkach (bardzo niskie moce) na obszarach ulic w dużych miastach [4] – pod warunkiem, że zachowany będzie wymagany odstęp od poziomu zakłóceń odbiornika radarowego.

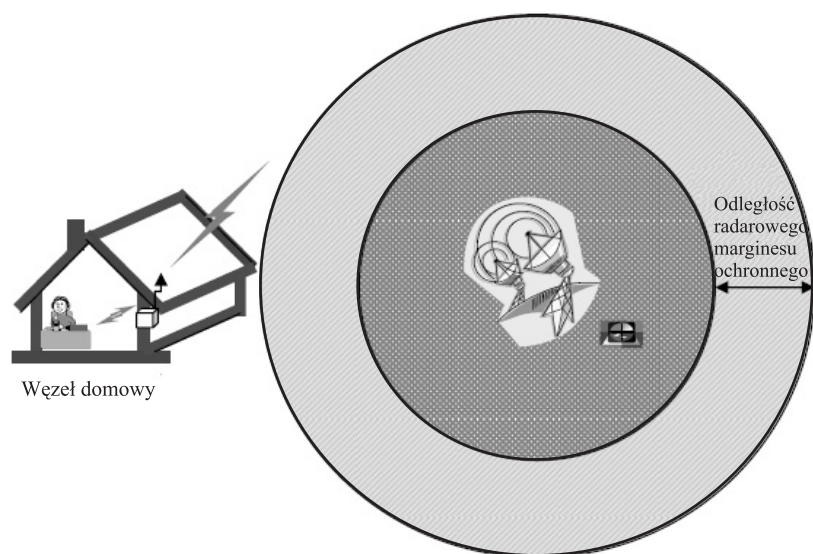
Systemy radia kognitywnego mogą być rozwijane w jednym zakresie częstotliwości – wykorzystywanym przez jeden system pierwotny, mogą również wykorzystywać jednocześnie kilka podzakresów częstotliwości. Nastąpić to może w wyniku agregacji („składania”) kanałów częstotliwościowych dla potrzeb transmisji szerokopasmowych, zwanej dalej agregacją częstotliwości. Agregacja kanałów może nastąpić w podzakresach sąsiadujących, podzakresach od siebie odseparowanych, ale wchodzących w skład jednego zakresu, wreszcie możliwe jest użycie kilku podzakresów z różnych, nawet znacznie od siebie odległych zakresów częstotliwości (rys. 5). Obecna technika już umożliwia użycie takich zagregowanych kanałów. Przykład sposobu powstawania zagregowanych kanałów przeznaczonych dla systemów LTE, które „złożone” zostały z węższych kanałów zlokalizowanych w różnych zakresach częstotliwości (telewizyjnym 470–790 MHz, dywidendy cyfrowej 790–862 MHz oraz w dwóch zakresach powyżej 2 GHz przeznaczonych dla IMT 2000), przewidzianych zarówno dla łączy „w górę”, jak i „w dół” – przedstawiony jest na rys. 6. Wykorzystano tutaj również kanały zawarte w „białych przestrzeniach” widma radiowego pasm telewizyjnych (TVWS – *TV white spaces*). Istotne jest to o tyle, że najprawdopodobniej TVWS będą eksploatowane w pierwszej kolejności. Należy przy tym zwrócić uwagę na to, że możliwe jest dokonywanie agregacji kanałów częstotliwościowych przeznaczonych zarówno dla łączy „w górę” (UL) jak i „w dół” (DL). Metody agregacji częstotliwości przez radio kognitywne rozważane są m.in. w ramach prowadzonych na rzecz projektu SACRA (*Spectrum and Energy Efficiency through multi-band Cognitive RAdio*) prowadzonego w Europie w ramach Siódmego Programu Ramowego (FP7).



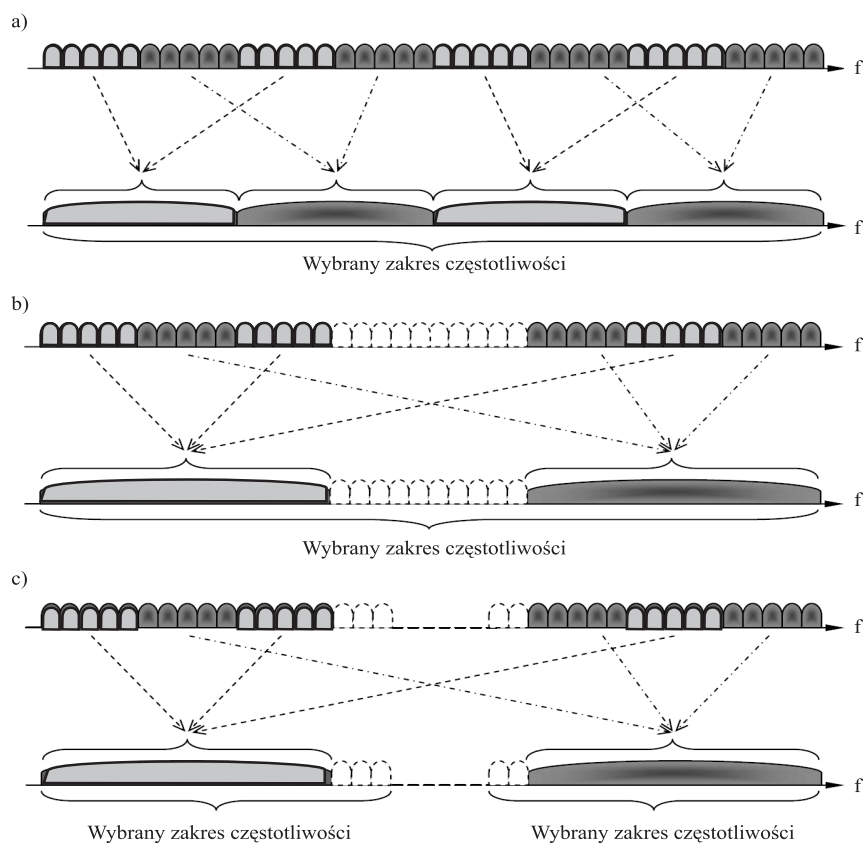
Rys. 2. Wykorzystanie białych przestrzeni widma w paśmie TV przez systemy dostępne przy wykorzystaniu bazy danych



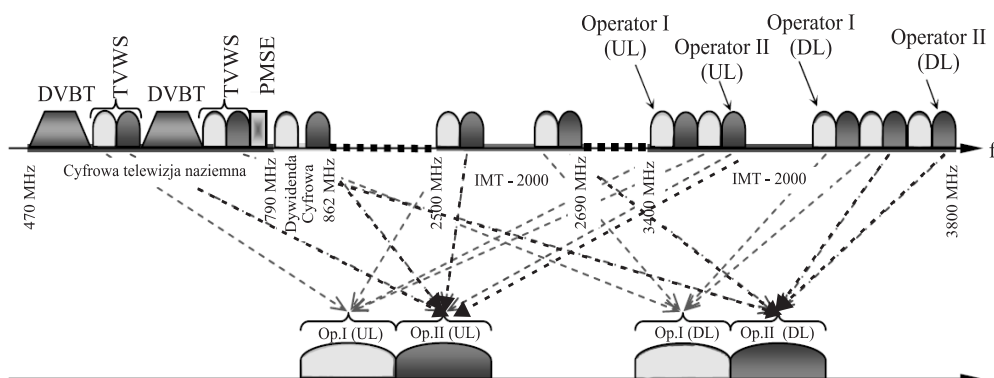
Rys. 3. Luki (ciemne miejsca) w pokryciu zasięgowym radiowych stacji UKF-FM, polaryzacja pionowa, na częstotliwości 87,5 MHz – możliwe do wykorzystania przez radio kognitywne [3]



Rys. 4. Wykorzystanie radia kognitywnego w zakresie użytkowanym przez stacje radarowe

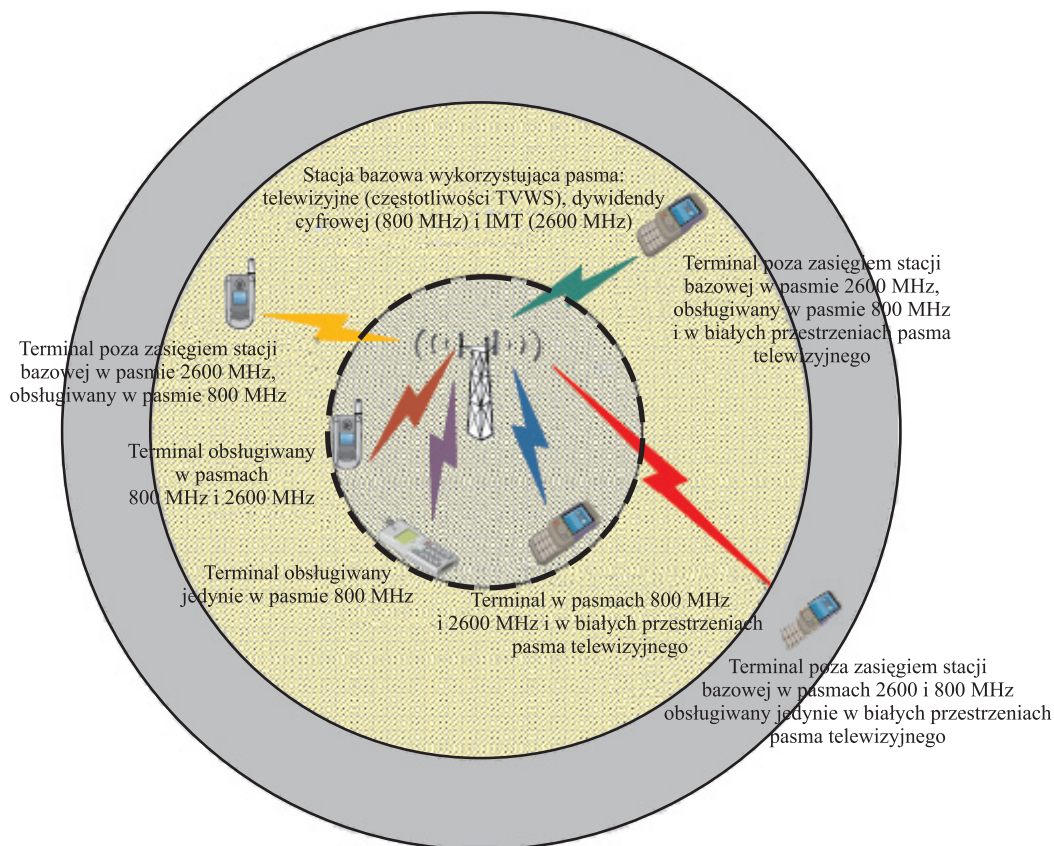


Rys. 5. Sposoby agregacji kanałów częstotliwościowych: (a) w sąsiadujących, (b) w odseparowanych podzakresach wybranego zakresu częstotliwości, (c) z różnych zakresów częstotliwości

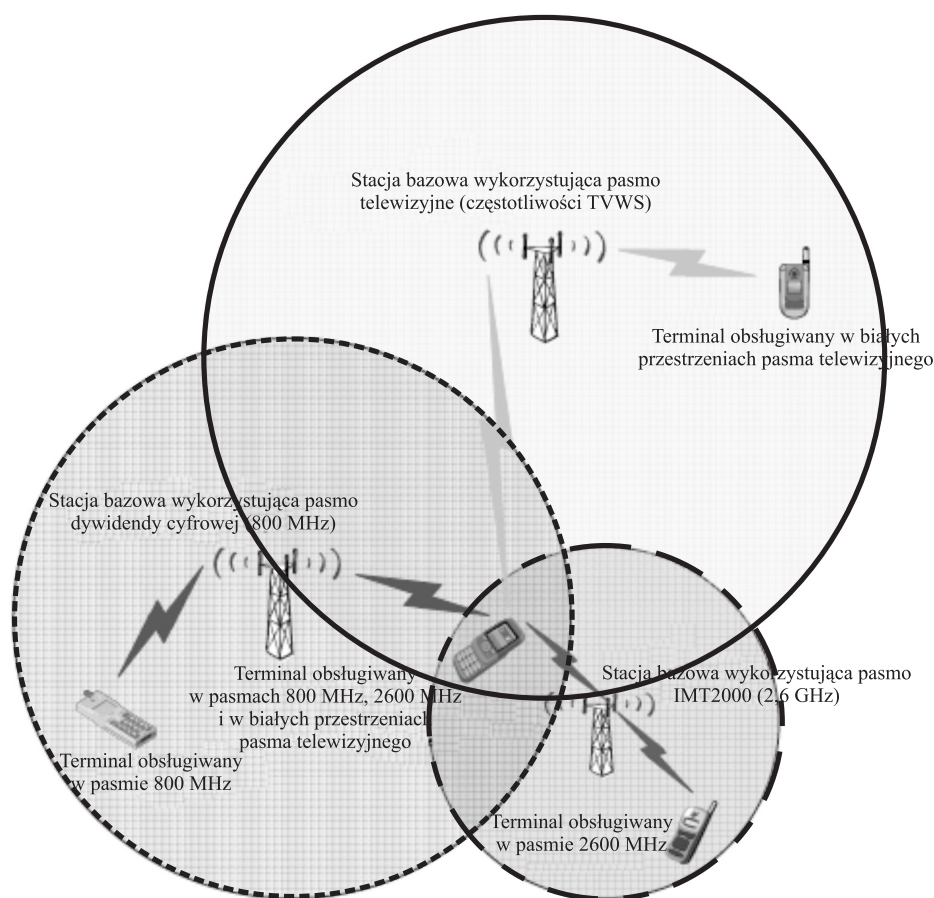


Rys. 6. Agregacja kanałów z kilku zakresów częstotliwości

Niezależnie od wykorzystywanych zakresów częstotliwości agregacja częstotliwości może nastąpić wewnątrz obszaru obsługi danej stacji (nadawczej, bazowej, itp.) lub na przecięciu różnych obszarów obsługi. Przypadki takie, oparte tutaj na przykładzie stacji operujących w pasmach TV, dywidendy cyfrowej oraz 2,6 GHz (IMT2000), przedstawione są na rys. 7 i 8.



Rys. 7. Agregacja częstotliwości wewnątrz jednego obszaru obsługi



Rys. 8. Agregacja częstotliwości na przecięciu trzech obszarów obsługi

Jak wynika z powyższych przykładów, zarówno stacje bazowe, jak i terminale użytkownika radia kognitywnego mogą eksploatować częstotliwości z obu rozpatrywanych zakresów w zależności od tego, w którym obszarze obsługi będą zlokalizowane. Z punktu widzenia konstrukcji sprzętu radiowego istotne jest jednak, jakie zakresy częstotliwości mogą być wykorzystane do potrzeb radia kognitywnego. W przypadku, gdy zaistnieje duża różnica między częstotliwościami środkowymi skrajnych zakresów, które mogą być przyporządkowane potrzebom radia kognitywnego, budowa terminali lub stacji bazowych przy obecnym stanie techniki może się okazać trudna a w granicznym przypadku niemożliwa. Z kolei, gdy różnica ta będzie zbyt mała, mogą się pojawić problemy z zapewnieniem niezbędnej kompatybilności wewnątrzsystemowej.

Wybór zakresów częstotliwości dostępnych w Europie dla potrzeb radia kognitywnego

Zakresy częstotliwości, które mogą być wykorzystane przez radio kognitywne zostały przedstawione na podstawie jednego dokumentu, zawierającego informacje o zalecanym przeznaczeniu i głównym zastosowaniu częstotliwości w Europie – europejskiej tablicy przeznaczeń częstotliwości ECA

(*European Common Allocation*) [7]. Podczas analiz dostępności poszczególnych zakresów dla potrzeb radia kognitywnego nie brano pod uwagę polskiej *Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości* [8], której zapisy odbiegają nieco od tablicy europejskiej. Polska tablica będzie w przyszłości musiała być dostosowana do europejskiej, stąd za podstawę przyjęta została ta druga. Przegląd zakresów częstotliwości powinien być w zasadzie dokonany w takich granicach częstotliwości, wewnątrz których można efektywnie ulokować systemy radia kognitywnego. Arbitralnie można tu wybrać, zgodnie ze stanem obecnej wiedzy, zakres 26,96 MHz – 6000 MHz. Jednak dolna granica tego zakresu, stanowiąca praktycznie kres dolny wykorzystywania cywilnych systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej (CB radio) powinna być ze względów praktycznych przesunięta do ok. 80 – 90 MHz. I chociaż poniżej 80 MHz można by, w niektórych podzakresach, rozwijać radio kognitywne, to ze względu na warunki propagacji fal radiowych panujące na tych częstotliwościach istnieje możliwość rozchodzenia się sygnałów zakłócających na dalekie odległości (propagacja duktowa, sporadyczna propagacja jonosferyczna), co istotnie ogranicza, a nawet uniemożliwia implementację radia kognitywnego. Częstotliwość 6000 MHz, stanowiąca górną granicę rozpatrywanego zakresu, wybrana została natomiast ze względu na coraz to mocniej rosnące z częstotliwością tłumienie propagacyjne. Ze względu na ten wzrost tłumienia, a w konsekwencji silnie malejące zasięgi stacji radiowych, fale radiowe krótsze od 5 cm nie są powszechnie, jak dotychczas, wykorzystywane do potrzeb RRL. Należy jednak zaznaczyć, że zgodnie z ECA służba ruchoma lądowa może teoretycznie wykorzystywać częstotliwości nawet w zakresie 265–275 GHz, a praktyczne wykorzystanie radiokomunikacji ruchomej lądowej dla systemów szerokopasmowych przewidywane jest już obecnie nawet w zakresie 65–66 GHz.

Teoretycznie, radio kognitywne może być zaimplementowane w każdym zakresie częstotliwości. Nie istnieje bowiem taki zakres, w którym dotychczasowa efektywność wykorzystania widma byłaby równa jedności. Jednak pewne zakresy powinny być z założenia wyłączone z możliwości użytkowania przez radio kognitywne nawet wtedy, gdy charakteryzują się małą i bardzo małą efektywnością widmową. Są to zakresy przeznaczone dla ważnych służb ratunkowych, alarmowania i powiadamiania, gdzie z uwagi na specyfikę służby i potrzeby trudno mówić o celowości pełnego wykorzystania przydzielonych odcinków widma. Istnieją również inne służby (np. radionawigacyjne, radiolokalizacyjne czy radioastronomiczne), których działanie nie powinno być w najmniejszym stopniu zakłócone. Ogranicza to liczbę zakresów częstotliwości, które można rozpatrzeć pod kątem implementacji radia kognitywnego.

Tak więc dla potrzeb radia kognitywnego w różnych konfiguracjach, na różnych warunkach implementacji, można przeznaczyć w zasadzie te zakresy częstotliwości, które są przeznaczone dla systemów naziemnych – telewizji, radiofonii, radiolokalizacji, radionawigacji, lotniczych (ziemia–powietrze) oraz zakresy zwolnione przez telewizję analogową (tzw. pierwsza i druga dywidenda cyfrowa). Radio kognitywne, na zasadzie agregacji częstotliwości może wykorzystywać ponadto wszelkie zakresy przeznaczone dla radiokomunikacji ruchomej lądowej, jednak problemem może być tutaj znalezienie luk w widmie, gdyż w tych zakresach, przy dobrym projektowaniu, można zapewnić dość wysoką efektywność widmową. Możliwe, choć trudne ze względu na duże prawdopodobieństwo istnienia potencjalnych zakłóceń, jest wykorzystywanie zakresów częstotliwości przeznaczonych dla użytkowników nielicencjonowanych (pasma obywatelskie czy pasma ISM – *industrial, scientific, medical*). Wątpliwe wydaje się natomiast szerokie użycie do celów radia kognitywnego zakresów częstotliwości przeznaczonych dla służb stałych (np. dla systemów dostępowych, przeznaczonych dla transmisji internetowych), głównie z uwagi na konieczność unikania zakłóceń pochodzących od systemów linii radiowych, które jest trudno a czasem niemożliwie wyeliminować. W systemach linii radiowych sygnały zakłócające rozchodzą się w pewnych kierunkach

na stosunkowo duże odległości, co powodowane jest stosowaniem anten o dużych zyskach energetycznych. Jednakże nawet wtedy można rozważać wprowadzenie technik kognitywnego dostępu do widma w ograniczonym zakresie. Wówczas, podobnie jak w zakresach przeznaczonych dla radiolokalizacji, radio kognitywne mogłoby być ewentualnie stosowane w pomieszczeniach zamkniętych. Jak wspomniano powyżej, radio kognitywne nie może być użytkowane w zakresach częstotliwości przeznaczonych dla służb ratunkowych. Z tego samego powodu nie powinno się implementować tego radia także w zakresach przeznaczonych dla radionawigacji satelitarnej (GPS, Galileo, Glonass).

Istnieje duża zależność wyboru zakresu częstotliwości, w którym planuje się użycie radia kognitywnego (na korzystnych zasadach – *opportunistic use*, jako systemu wtórnego) od tego, jak ma być pozyskana wiedza o stanie środowiska elektromagnetycznego w otaczającej to radio rzeczywistości. Innymi słowami, preferencja zakresu częstotliwości, w którym ma być użytkowane radio kognitywne (system wtórny) zależy także od tego, w jaki sposób zamierza się wykrywać i wykorzystywać istniejące luki zajętości wielowymiarowej przestrzeni widma radiowego (zawierającej m.in. współrzędne geograficzne, częstotliwość pracy, szerokość kanału, dopuszczalną moc promieniowaną – maskę widmową, charakterystyki promieniowania anten, wzniesienia anten, azymuty głównego promieniowania, czas pracy, itp.).

Podstawowe techniki służące radiu kognitywnemu do prowadzenia analiz stanu środowiska celem wykrywania luk w zajętości przestrzeni radiowej systemów pierwotnych można podzielić na dwie grupy: aktywne i pasywne. W ramach technik aktywnych radio kognitywne samo podejmuje decyzje o rozpoznawaniu stanu zajętości przestrzeni widma radiowego (wyszukiwaniu i określeniu rozmiarów luk) natomiast w przypadku technik pasywnych radio kognitywne zadowala się informacją o lukach w zajętości widma pozyskaną z innych źródeł informacji. Do technik analizujących stan środowiska zaliczyć można:

- sensing, czyli rozpoznanie zajętości przez bezpośrednią analizę stanu widma częstotliwości radiowych prowadzoną przez stacje radia kognitywnego,
- użycie sygnałów radiolatarni oznajmiających zajętość lub możliwość wykorzystania określonego kanału radiowego. Możliwe jest tu użycie kognitywnych kanałów pilotowych (służących do identyfikacji w danym rejonie użytych technik radiowych i skojarzonych z nimi częstotliwości), lub kognitywnych kanałów sterujących, umożliwiających wymianę informacji między sensorami zajętości widma a poszczególnymi stacjami radia kognitywnego (informacja ta może dotyczyć różnych spraw, jak np.: zasad dostępu do różnych pasm, sposobów uzyskiwania praw do korzystania z widma, czy lokalnej dostępności określonych pasm częstotliwości),
- wykorzystanie w trybie rzeczywistym informacji zawartych w bazach danych o środowisku systemów pierwotnych (położenie geograficzne, parametry elektryczne, parametry sieciowe, sposób wykorzystania środków radiowych, cechy transmisyjne, preferencje użytkowników itp.),
- użycie metod geolokacyjnych (w tym również baz danych) do określenia położenia nadajników, odbiorników, stacji bazowych czy terminali systemów pierwotnych oraz do określenia częstotliwości, które mogą być użyte w danym położeniu geograficznym.

Każda z technik możliwych do wykorzystania ma swoje specyficzne wady i zalety. Techniki bierne korzystają z zasobów informacji zgromadzonych wcześniej. Dane o środowisku elektromagnetycznym oraz sposobie jego wykorzystania uzyskiwane są przy tym bądź przez uprzednie dokonanie stosownych badań empirycznych, bądź przez symulację stanu tego środowiska przeprowadzoną na

podstawie informacji o rozmieszczeniu stacji radiowych systemu pierwotnego na podstawie numerycznego modelu terenu. Dużą zaletą korzystania z tego rodzaju technik jest możliwość natychmiastowego odwzorowania stanu środowiska EM przez tworzenie stosownych map zasięgów radiowych, map zajętości częstotliwości, uwzględnienie rozkładu temporalnego średniego ruchu radiowego, czy wspomnianych wyżej dostępności (praw do korzystania z widma) do poszczególnych pasm częstotliwości. Wadą tego typu rozwiązania jest to, że w momencie korzystania z uprzednio zgromadzonych danych informacje dotyczące stanu środowiska mogą być już częściowo nieaktualne, a w przypadku czerpania danych pochodzących z symulacji (np. zasięgów użytkowych czy zakłóceń stacji systemu pierwotnego lub rozmiarów jego ewentualnych stref ochronnych) informacje mogą być obciążone błędami wynikającymi z niedostatecznie precyzyjnie odwzorowanej rzeczywistości.

W przypadku technik czynnych, które polegają na bieżącym monitorowaniu stanu środowiska, kłopot pojawia się przy konieczności szybkiego i odpowiedniego przetworzenia wyników celem natychmiastowego ich wykorzystania w organizacji systemów wtórnych (radia kognitywnego). Ponadto mogą zaistnieć problemy związane z tym, że systemy monitorujące (sensingowe) mogą nie wykryć nadajników o zbyt małej mocy, mogą nie uwzględnić poziomu lokalnych zakłóceń „przykrywających” sygnały o niskim poziomie mocy pochodzących od systemów pierwotnych, czy pomijając wpływ nierównomierności ukształtowania powierzchni ziemi „maskujących” sygnały systemów pierwotnych odbieranych za wzniesieniami, w kotlinach, na stokach gór itp. [9].

Przegląd zakresów częstotliwości w granicach 29,7–6000 MHz pod kątem możliwości implementacji radia kognitywnego przedstawiony jest w tablicy. Każdemu z zakresów częstotliwości wyodrębnionych (na ogół według podziału obowiązującego w Europejskiej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości, ECA [7]) w pasmach VHF i UHF przyporządkowane są zgodnie z przeznaczeniami konkretne służby radiowe (nazewnictwo wg Regulaminu Radiokomunikacyjnego). Służby najistotniejsze, tzw. pierwszej ważności, są wymienione z nazwy, jednak w przypadku gdy w jednym zakresie jest wiele przeznaczeń, zostały określone ogólnym mianem „różne”. Konkluzją rozważań o możliwości implementacji radia kognitywnego są informacje dotyczące możliwości wykorzystania w Polsce różnych zakresów dla potrzeb radia kognitywnego w Europie. Informacje te zawierają równocześnie sugestie odnośnie do możliwości rozwinięcia systemów radia kognitywnego w wybranych obszarach, terenach, czy miejscach (np. teren otwarty, lub pomieszczenia wewnątrz budynków). Propozycje wykorzystania poszczególnych zakresów częstotliwości dla potrzeb radia kognitywnego zostały przedstawione z pewną dozą subiektywności i opierają się na dostępnej wiedzy. Podczas analizy możliwości wykorzystania radia kognitywnego w poszczególnych zakresach częstotliwości uwzględniono również możliwość dokonywania agregacji częstotliwości i na ogół nie sugerowano się istniejącymi planami zagospodarowania częstotliwości w Polsce, wydanymi przez Urząd Komunikacji Elektronicznej, ponieważ plany te mogą i powinny ulec zmianie w miarę rozwoju techniki.

Należy jednak raz jeszcze podkreślić, że wprowadzenie radia kognitywnego jako systemu wtórnego w przestrzeń elektromagnetyczną zajęta przez inne systemy radiowe (pierwotne) wymaga dokonania szczegółowych badań kompatybilnościowych, umożliwiających określenie szczegółowych warunków implementacji tego radia. Do warunków takich zaliczyć należy w pierwszym rzędzie dopuszczalne moce nadajników, maksymalne czułości odbiorników, czy minimalne separacje odległościowe i częstotliwościowe między nadajnikami systemów wtórnych a odbiornikami systemów pierwotnych. Przykładowe kryteria implementacji możliwych systemów radia kognitywnego w zakresie 470–790 MHz (zajmowanym dotychczas przez systemy radiodifuzyjne i przeznaczonym na ich potrzeby) zostały przedstawione w sprawozdaniu CEPT [10].

Tabl. Możliwości implementacji radia kognitywnego w Europie w różnych zakresach częstotliwości

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
29,7 – 87,5 MHz Różne	Różne	Różne	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego ze względu na możliwe zakłócenia	
87,5 – 108 MHz Radiodyfuzja	Radiodyfuzja	Radiofonia FM, bezprzewodowe aplikacje foniczne	Bez ograniczeń	Baza danych
108 – 117,975 MHz Radionawigacja lotnicza Ruchoma lotnicza	Radionawigacja lotnicza Ruchoma lotnicza	Lokalizatory ILS, VOR, komunikacja lotnicza	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
117,975 – 121,45 MHz Ruchome lotnicza (R)	Ruchoma lotnicza	Komunikacja lotnicza	W zamkniętych pomieszczeniach	Baza danych
121,45–121,55 MHz Ruchoma lotnicza (R)	Ruchoma lotnicza	EPIRB (radiolatarnie)	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego (systemy bezpieczeństwa, ratunkowe i alarmowe)	
121,55 – 137 MHz Ruchoma lotnicza (R)	Ruchoma lotnicza	Komunikacja lotnicza	W zamkniętych pomieszczeniach (z wyłączeniem 123,1 MHz)	Baza danych
137 – 138 MHz Różne	Różne	Różne	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego z uwagi na systemy satelitarne	
138 – 144 MHz Różne	Różne	Różne	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego z uwagi na wojskowe systemy	

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
144 – 146 MHz Amatorska	Amatorska		Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
146 – 156,4875 MHz Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej	Ruchoma z wyjątkiem lotniczej	PMR/PAMR	Bez ograniczeń	Sensing, geolokacja
156,4875 – 157,45 MHz Różne	Różne	Radiokomunikacja morska, służby ratunkowe i bezpieczeństwa	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego z uwagi na służby ratunkowe	
157,45 – 160,6 MHz Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej	Ruchoma z wyjątkiem lotniczej	PMR/PAMR	Bez ograniczeń	Sensing, geolokacja
160,6 – 160,975 MHz Różne	Różne	Radiokomunikacja morska, służby ratunkowe i bezpieczeństwa	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego z uwagi na służby ratunkowe	
160,975 – 161,475 MHz Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej	Ruchoma z wyjątkiem lotniczej	PMR/PAMR	Bez ograniczeń	Sensing, geolokacja
161,475 – 162,05 MHz Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej	Ruchoma z wyjątkiem lotniczej	Radiokomunikacja morska, stacje brzegowe	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
162,05 – 174 MHz Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej	Ruchoma z wyjątkiem lotniczej	PMR/PAMR	Bez ograniczeń	Sensing, geolokacja
174 – 230 MHz Radiodyfuzja	Radiodyfuzja	TV, T-DAB	Bez ograniczeń	Baza danych

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
230 – 399,9 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, ILS, EPIRB, służby ratownicze (PPDR), PMR/PAMR	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
399,9 – 470 MHz Różne	Różne	PPDR, meteorologiczne satelity i sondy, EPIRB, aplikacje radiowe dla osób niepełno-sprawnych, PMR/PAMR	Generalnie brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego, możliwe wyjątki w podzakresach zajętych przez PMR/PAMR	Sensing, geolokacja, radiolatarnie
470 – 790 MHz Radiodyfuzja	Radiodyfuzja	TV, radiomikrofony	Bez ograniczeń	Baza danych
790 – 862 MHz Różne	Radiodyfuzja, ruchoma z wyjątkiem lotniczej	TV, LTE, IMT, radiomikrofony, systemy wojskowe	Bez ograniczeń	Baza danych, sensing, radiolatarnie
862 – 870 MHz Różne	Ruchome	IMT, systemy wojskowe, urządzenia krótkozasięgowe SRD, RFID, radiomikrofony	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
870 – 876 MHz Różne	Ruchome	IMT, systemy wojskowe, PMR/PAMR	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, sensing, radiolatarnie
876 – 915 MHz Różne	Ruchome	IMT, GSM, systemy wojskowe, PMR/PAMR	Bez ograniczeń	Baza danych, sensing, radiolatarnie
915 – 921 MHz Różne	Ruchome	Systemy wojskowe, PMR/PAMR	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, sensing
921 – 960 MHz Różne	Ruchome	IMT, GSM, systemy wojskowe, PMR/PAMR	Bez ograniczeń	Baza danych, sensing, radiolatarnie
960 – 1164 MHz Radionawigacja lotnicza, ruchoma lotnicza (R)	Radionawigacja lotnicza, ruchoma lotnicza (R)	Systemy nawigacyjne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, sensing

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
1164 – 1215 MHz Radionawigacja lotnicza, ruchoma lotnicza (R)	Radionawigacja lotnicza, ruchoma lotnicza (R)	Galileo, GLONASS, systemy nawigacyjne	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
1215 – 1350 MHz Różne	Różne	Galileo, GLONASS, GPS, systemy nawigacyjne i radiolokacyjne, systemy wojskowe	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
1350 – 1400 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, linie radiowe	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych
1400 – 1427 MHz Różne	Różne	Pasywne sensory satelitarne do badań Ziemi	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
1427 – 1452 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, linie radiowe	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie
1452 – 1492 MHz Różne	Różne	S-DAB, T-DAB	Bez ograniczeń	Baza danych
1492 – 1518 MHz Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej	Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej	Systemy wojskowe, linie radiowe	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie
1518 – 1530 MHz Różne	Różne	Terminale satelitarne, linie radiowe, systemy wojskowe	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie
1530 – 1545 MHz Różne	Różne	Terminale satelitarne, systemy powiadomienia o niebezpieczeństwie GMDSS	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
1545 – 1559 MHz Ruchoma satelitarna (kosmos-Ziemia)	Ruchoma satelitarna (kosmos-Ziemia)	Terminale satelitarne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie
1559 – 1610,6 MHz Radionawigacja lotnicza i satelitarna, ruchoma satelitarna (Ziemia- kosmos, kosmos – kosmos))	Radionawigacja lotnicza i satelitarna, ruchoma satelitarna (Ziemia-kosmos)	Terminale satelitarne, Galileo, GLONASS, GPS	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego ze względu na systemy radionawigacyjne	

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
1610,6 – 1626,5 MHz Radionawigacja lotnicza, ruchoma satelitarna (Ziemia-kosmos)	Radionawigacja lotnicza, ruchoma satelitarna (Ziemia-kosmos)	Terminale satelitarne, segment satelitarny IMT	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie
1626,5 – 1646,5 MHz Ruchoma satelitarna (Ziemia-kosmos)	Ruchoma satelitarna (Ziemia-kosmos)	Terminale satelitarne, GMDSS	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
1646,5 – 1660,5 MHz Ruchoma satelitarna (Ziemia-kosmos)	Ruchoma satelitarna (Ziemia-kosmos)	IMT, terminale satelitarne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie
1660,5 – 1668 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, radioastronomia	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	
1668 – 1675 MHz Różne	Różne	IMT, terminale satelitarne, radio-meteorologia	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing
1675 – 1710 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, radiometeorologia	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing
1710 – 1785 MHz Różne	Różne	GSM 1800, IMT	Bez ograniczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing
1785 – 1800 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	Terminale ruchome, radiomikrofony	Brak możliwości	
1800 – 1805 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	Pasmo nieprzydzielone do zastosowań	Obecnie bez ograniczeń	Dowolnie dostępna
1805 – 1880 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	GSM 1800, IMT	Bez ograniczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
1880 – 1900 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	DECT	Brak możliwości	
1900 – 1920 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	IMT (TDD)	Brak możliwości	
1920 – 1980 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	IMT (FDD)	Bez ograniczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing
1980 – 2010 MHz Stała, ruchoma, ruchoma satelitarna	Stała, ruchoma, ruchoma satelitarna	IMT, terminale satelitarne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie
2010 – 2025 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	IMT (TDD)	Brak możliwości	
2025 – 2110 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, radiowe linie stałe, systemy badania Ziemi	Brak możliwości	
2110 – 2170 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	IMT (FDD)	Bez ograniczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing
2170 – 2200 MHz Stała, ruchoma, ruchoma satelitarna	Stała, ruchoma, ruchoma satelitarna	IMT, terminale satelitarne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie
2200 – 2290 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, stałe linie radiowe, radio-astronomia, kosmiczne badania Ziemi	Brak możliwości	
2290 – 2400 MHz Różne	Różne	Aplikacje ruchome, telemetria lotnicza, radioamatorzy, radiolokalizacja	Brak możliwości	
2290 – 2400 MHz Różne	Różne	Aplikacje ruchome, telemetria lotnicza, radioamatorzy, radiolokalizacja	Brak możliwości	

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
2400 – 2483,5 MHz Różne	Różne	Systemy przemysłowe, naukowe i medyczne ISM, RFID, systemy krótkozasięgowe, zastosowania kolejowe, zastosowania radionawigacyjne	Teoretyczne możliwe, jednak zakres jest bardzo intensywnie użytkowany, w praktyce – brak możliwości	
2483,5 – 2500 MHz Różne	Różne	ISM, terminale satelitarne, zastosowania ruchome,	Bez ograniczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing
2500 – 2570 MHz Różne	Różne	IMT (FDD)	Bez ograniczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing
2570 – 2620 MHz Różne	Różne	IMT (TDD)	Brak możliwości	
2620 – 2690 MHz Różne	Różne	IMT (FDD)	Bez ograniczeń	Baza danych, radiolatarnie, sensing
2690 – 2700 MHz Różne	Różne	Pasywne sensory satelitarne	Brak możliwości	
2700 – 2900 MHz Lotnicza radionawigacja, radiolokalizacja	Lotnicza radionawigacja, radiolokalizacja	Radary meteorologiczne, systemy radionawigacyjne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja
2900 – 3100 MHz Radionawigacja, radiolokalizacja	Radionawigacja, radiolokalizacja	Systemy wojskowe, systemy radarowe i radionawigacyjne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja
3100 – 3400 MHz Radiolokalizacja	Radiolokalizacja	Systemy wojskowe, systemy radarowe	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja
3400 – 3800 MHz Stała, stała satelitarna (kosmos-Ziemia)	Stała, stała satelitarna (kosmos-Ziemia), ruchoma	Systemy dostępne, IMT	W zależności od przyjętego trybu dostępu, przy FDD – bez ograniczeń, przy TDD – brak możliwości	Baza danych, radiolatarnie, sensing
3800 – 4200 MHz Stała, stała satelitarna (kosmos-Ziemia)	Stała, stała satelitarna (kosmos-Ziemia),	Linie radiowe	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
4200 – 4400 MHz Lotnicza radionawigacja	Lotnicza radionawigacja	Radiowysokościomierze	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja
4400 – 4500 MHz Stała, ruchoma	Stała, ruchoma	Systemy wojskowe, śledzenie lokalizacji służbach ratunkowych	Brak możliwości ze względu na służby ratunkowe	
4500 – 4800 MHz Stała, stała satelitarna (kosmos – Ziemia), ruchoma	Stała, stała satelitarna (kosmos – Ziemia), ruchoma	Systemy wojskowe, radiolokacja, śledzenie lokalizacji w służbach ratunkowych	Brak możliwości ze względu na służby ratunkowe	
4800 – 4990 MHz Stała, ruchoma, radioastronomia	Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej, radioastronomia	Systemy wojskowe, radiolokacja, radiowa interferometria wielkobazowa	Brak możliwości z uwagi na noma-dyczne wojskowe linie radiowe	
4990 – 5000 MHz Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej, radioastronomia	Stała, ruchoma z wyjątkiem lotniczej, radioastronomia	Systemy wojskowe, radiolokacja, radiowa interferometria wielkobazowa	Brak możliwości z uwagi na noma-dyczne wojskowe linie radiowe	
5000 – 5030 MHz Lotnicza radionawigacja, radionawigacja satelitarna (Ziemia – kosmos)	Lotnicza radionawigacja, radionawigacja satelitarna (Ziemia – kosmos)	System Galileo, nawigacja lotnicza	Brak możliwości ze względu na systemy radionawigacyjne	
5030 – 5091 MHz Lotnicza radionawigacja	Lotnicza radionawigacja	Mikrofalowe systemy lądowania	Brak możliwości ze względu na systemy radionawigacyjne	
5091 – 5150 MHz Lotnicza radionawigacja, ruchoma lotnicza	Lotnicza radionawigacja	Mikrofalowe systemy lądowania	Brak możliwości ze względu na systemy radionawigacyjne	
5150 – 5350 MHz Różne	Różne	Telemetria lotnicza, aktywne sensory satelitarne, systemy wojskowe, radiolokacja, systemy dostępowe	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja

Główne przeznaczenie, służby radiowe wg Regulaminu Radio-komunikacyjnego	Główne przeznaczenie, służby radiowe wg ECA	Główne wykorzystanie zakresu w Europie	Uwagi odnośnie do możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	Polecana metoda analizy stanu środowiska EM
5350 – 5470 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, radiolokacja, radionawigacja lotnicza	Brak możliwości z uwagi na wojskowe systemy radionawigacyjne	
5470 – 5650 MHz Różne	Różne	Systemy wojskowe, radiolokacja, radionawigacja morską, systemy dostępne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja
5650 – 5725 MHz Ruchoma z wyjątkiem lotniczej, radiolokalizacja	Ruchoma z wyjątkiem lotniczej, radiolokalizacja	Systemy wojskowe, radiolokacja, noma-dyczne linie radiowe, systemy dostępne	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja, sensing
5725 – 5875 MHz Stała, stała satelitarna (Ziemia – kosmos), ruchoma	Stała, stała satelitarna (Ziemia – kosmos), ruchoma	Systemy dostępne, ISM	Bez ograniczeń	Sensing, radiolatarnie, baza danych
5875 – 5925 MHz Stała, stała satelitarna (Ziemia – kosmos), ruchoma	Stała, stała satelitarna (Ziemia – kosmos), ruchoma	Systemy dostępne, linie radio-we, inteligentny transport	Bez ograniczeń	Sensing, radiolatarnie, baza danych
5925 – 6000 MHz Stała, stała satelitarna (Ziemia – kosmos), ruchoma	Stała, stała satelitarna (Ziemia – kosmos)	Linie radiowe	Wewnątrz pomieszczeń	Baza danych, radiolatarnie, geolokalizacja, sensing
Powyżej 6000 MHz Różne	Różne	Różne	Brak możliwości wprowadzenia radia kognitywnego	

Sugerowany w tablicy rodzaj polecanej metody analizy środowiska EM, która skutkuje podjęciem decyzji o możliwości zastosowania radia kognitywnego, wynika głównie ze sposobu użytkowania systemów pierwotnych w danym zakresie częstotliwości. Najłatwiej jest pozyskać informacje o stanie środowiska zawarte w rozlicznych bazach danych oraz np. wykorzystać te informacje przy użyciu radiolatarni transmitującej stosowne dane do użytkownika radia kognitywnego. Najczęściej możliwe jest to w przypadku prób wykorzystania luk w przestrzeni widmowej zajmowanej przez systemy o dość rzadko rozmieszczonych stacjach nadawczych, o strukturze łatwej do opisanego i „zamknięcia” jej w bazie danych. Taką typową strukturą jest sieć telewizyjnych stacji nadawczych, czy stacji radiolokacyjnych. Natomiast w przypadkach, gdy system pierwotny w danym zakresie częstotliwości składa się z dużej liczby stacji radiowych (szczególnie nadawczo-odbiorczych) i możliwe jest jego nierównomierne zagęszczenie – jak w przypadku radiokomunikacji ruchomej

ładowej, podjęcie stosownego działania w radiu kognitywnym skutecznie wspierać będzie sensing. Kierując się wymienionymi wyżej przesłankami, przedstawiony w tablicy wybór polecanej metody analizy środowiska, dokonany został arbitralnie.

Podsumowanie

Przedstawione sugestie odnośnie do wykorzystania poszczególnych zakresów dla potrzeb radia kognitywnego odnoszą się do sytuacji częstotliwościowej i do wykorzystania zasobów widma elektromagnetycznego w chwili obecnej. Jak wynika z przeprowadzonej analizy potencjalnej dostępności widma radiowego dla potrzeb implementacji radia kognitywnego, w zakresie 29,7 – 6000 MHz możliwe jest wykorzystanie do tych potrzeb ok. 1644,1 MHz zasobów widmowych. W ograniczonym zakresie, tylko ko wewnątrz pomieszczeń, można użyć ok. 2323,9 MHz widma. Natomiast z różnych względów należy wykluczyć z możliwej eksploatacji radia kognitywnego pozostałą część widma, o łącznej szerokości ok. 2002,4 MHz. Jeżeli jednak w zakresie 3400 – 3800 MHz w Polsce użyty będzie jedynie tryb dostępu TDD – na co się nie zanosi – wówczas dla radia kognitywnego dostępnych będzie o 400 MHz widma mniej. Z oczywistych przyczyn, ze względu na konieczność stosowania pasm ochronnych oraz określoną aranżację (strukturę kanałową) wykorzystania widma, nie będzie możliwe użytkowanie przedstawionych powyżej dostępnych zasobów widmowych w pełnym wymiarze. Można przyjąć, że ok. 1/3 widma z zakresu 29,7 – 6 000 MHz może być udostępniona bez większych przeszkód dla potrzeb radia kognitywnego.

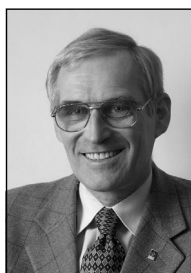
Przedstawione możliwości wprowadzenia radia kognitywnego w różnych zakresach częstotliwości mogą ulec zmianie w przypadku zamieszczenia w tablicy ECA innych propozycji europejskich dotyczących sposobu zagospodarowania tych zakresów. Należy się też liczyć z koniecznością prowadzenia koordynacji transgranicznej w przypadkach wdrożenia systemów radia kognitywnego w pobliżu granic państwowych, co może spowodować ograniczenie dostępnych zasobów widmowych.

W niniejszym artykule wykorzystano częściowo wyniki pracy statutowej prowadzonej w Instytucie Łączności w 2011 roku. [11].

Literatura

- [1] Akyildiz I.F. et al.: *A survey on spectrum management in cognitive radio networks*. IEEE Communications Magazine, April 2008, pp. 40–48
- [2] Kronander J. et al.: *QUASAR scenarios for white space assessments and exploitation*. URSI EMC conference, Wrocław, Poland, September 2010, pp. 512–516
- [3] Program Wieloletni: *Rozwój telekomunikacji i poczty w dobie społeczeństwa informacyjnego, Działania na rzecz oceny rzeczywistej zajętości widma elektromagnetycznego przez radiofonie UKF-FM na terenie Polski, SP IV.2, Pomiary natężenia pola fal radiowych w zakresie UKF-FM na wybranym obszarze Polski*. Instytut Łączności, 2008
- [4] Rahman M.I., Karlsson J.S.: *Feasibility evaluations for secondary LTE usage in 2.7-2.9 GHz radar bands*. 22 IEEE Personal Indoor Mobile Radio Communications, Toronto, Canada, September 2011, pp. 530–535
- [5] Seventh Framework Programme: *SACRA scenario study and system*. SACRA, doc. D1.1, 16 July 2010
- [6] *Reconfigurable radio systems (RRS); use cases for operation in white space frequency bands*. Technical Report, ETSI TR 102 907 v1.1.1 (2011-10)

- [7] CEPT ECC: *The European table of frequency allocations and utilisations in the frequency range 9 kHz to 3000 GHz (ECA Table)*. ERC Report 25, Amended Lisboa 02 - Dublin 03 - Kusadasi 04 - Copenhagen 04 - Nice 07 - Baku 08 - Kyiv 09 - Lille 11
- [8] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 czerwca 2005 r. w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości*. Dz.U, nr 134, poz.1127, 2005 (z późn. zm.)
- [9] Marshall P.: *Quantitative analysis of cognitive radio and network performance*. Artech House, Boston, London, 2010
- [10] CEPT ECC: *Technical and operational requirements for the possible operation of cognitive radio systems in the 'White Spaces' of the frequency band 470-790 MHz*. ECC Report 159, Cardiff, January 2011
- [11] *Metody badawcze służące opracowaniu standardów i wdrożeniu systemów radia kognitywnego*. Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy, Wrocław, grudzień 2011

Maciej J. Grzybowski

Dr inż. Maciej J. Grzybowski (1948) – absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie (1971); pracownik naukowy i nauczyciel akademicki w Wyższej Szkole Oficerskiej Wojsk Łączności w Zegrzu (1971–1990) oraz w Politechnice Wrocławskiej (1998–2003), pracownik naukowy Instytutu Łączności, Oddział we Wrocławiu (1990–1998, 2002–), dyrektor Departamentu Techniki Telekomunikacyjnej w ministerstwach Łączności, Gospodarki oraz Infrastruktury (2001–2002); przedstawiciel Polski na Światowych oraz Regionalnych Konferencjach Radiokomunikacyjnych (1992–2007); autor i współautor wielu publikacji, referatów ekspertyz i opracowań; obszary zainteresowania naukowego: systemy radiokomunikacji ruchomej lądowej, systemy radiodyfuzyjne, gospodarka częstotliwościami radiowymi, inżynieria widma radiowego, koordynacja transgraniczna oraz planowanie systemów radiokomunikacyjnych.

e-mail: mag@il.wroc.pl