

## ANALIZA ZASIĘGÓW JEDNOCZĘSTOTLIWOŚCIOWEJ SIECI RADIOFONII CYFROWEJ DRM

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono metody analizy i wyniki analiz zasięgów sieci jednoczęstotliwościowej (Single Frequency Network) dla przykładowych stacji pracujących w standardzie radiofonii cyfrowej DRM.

### 1. WSTĘP

Przedstawiony pod koniec lat 90-tych standard cyfrowej radiofonii DRM (Digital Radio Mondiale) został zaprojektowany w celu zastąpienia analogowej emisji radiofonicznej z wykorzystaniem modulacji amplitudy AM, na falach długich, średnich i krótkich do 30 MHz [1]. Może on także koegzystować równolegle z transmisją analogową AM.

### 2. PARAMETRY SYSTEMU

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

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

System DRM może pracować w czterech trybach odporności, przedstawionych poniżej.

Tab. 1. Tryby odporności w standardzie DRM

Tryb odporności	Typowe warunki propagacji	Zakresy częstotliwości
A	Kanały Gaussa, ze słabym zanikiem selektywnym, fala przyziemna	LF, MF
B	Kanały z selektywnym zanikiem w dziedzinie czasu i częstotliwości, z dłuższym rozrzutem opóźnienia, fala jonosferyczna	MF, HF
C	Odporność jak w trybie B, ale z większym wpływem efektu Dopplera, fala jonosferyczna	HF
D	Odporność jak w trybie C, ale ze znacznym wpływem efektu Dopplera i opóźnieniami, fala jonosferyczna	HF

Dzięki zastosowaniu w standardzie DRM techniki OFDM i wykorzystaniu odstępu ochronnego, dodawanego z nadawanych symboli, możliwa jest praca nadajników w sieci jednoczęstotliwościowej SFN. Dla potrzeb synchronizacji nadajników SFN stosuje się stempel czasowy DRM (TAG Item) i lokalnie ustawiany offset czasowy. Typowa wymagana dokładność skali czasu w stosowanych trybach pracy wynosi 0,5% odstępu ochronnego, tj. w przybliżeniu  $\pm 13,3 \mu s$  w trybie A,  $\pm 26,66 \mu s$  w trybach B i C oraz  $\pm 36,65 \mu s$  w trybie D. Jeżeli nadajniki nadające identyczny sygnał DRM na różnych częstotliwościach radiowych są synchronizowane w czasie (Synchronized Multi-Frequency Network, SMFN), to możliwe jest wprowadzenie AFS, sygnalizacji alternatywnej (alternatywnych) częstotliwości, na których nadawany jest ten sam program. Stosowanie AFS jest sposobem zwiększenia prawdopodobieństwa odbioru zwłaszcza na falach krótkich. Przy tym sposobie nadawania możliwe jest automatyczne przełączenie odbiornika na "lepszą" z częstotliwości odbieranych w danym miejscu i danym momencie. Dla potrzeb synchronizacji nadajników stosuje się "stempel czasowy" DRM oraz lokalnie ustawiany offset.

Szerokość pasma sygnałów akustycznych transmisji AM DSB jest mniejsza niż połowa szerokości kanału radiowego, zatem jest  $< 4,5$  kHz w przypadku emisji na falach średnich.

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

Oprócz znamionowej szerokości pasma 9 kHz (10 kHz) w systemie DRM możliwe jest stosowanie kanałów połówkowych 4,5 kHz (5 kHz) w celu umożliwienia równoczesnej emisji AM, lub podwójnych 18 kHz (20 kHz). Kompromis pomiędzy pojemnością kanału a odpornością na szum i zakłócenia propagacyjne (wielodrogowość, efekt Dopplera) jest osiągany przez wybór modulacji OFDM i sprawności kodu. Typowa przepływność w kanale 9 kHz (10 kHz) wynosi 20-24 kbit/s. Dla danej szerokości pasma efektywności systemu definiują takie parametry jak: sprawność kodowania i modulacja np. 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM, parametry symbolu OFDM uzależnione od warunków propagacji.

Pasmo częstotliwości zajmowane przez sygnał DRM powinno być dostosowane do znamionowej szerokości pasma kanału radiowego. W specyfikacji sys-

temu zdefiniowano sześć możliwych wartości parametru charakteryzującego zajmowane pasmo.

Tab. 2. Typ zajętości widma DRM a szerokość pasma kanału radiowego[2]

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

W przypadku konwertowania przydziałów częstotliwości przeznaczonych dla systemów analogowych do wykorzystania przez system DRM, należy dokonać konwersji mocy [2] przedstawione w poniższej tabeli.

Tab. 3. Wyniki konwersji mocy nadajnika analogowego AM z modulatorem klasy B na system DRM

Moc dla systemu analogowego	100 kW	250 kW	500 kW
Moc dla systemu DRM	< 10 kW	< 20 kW	< 40 kW

Tab. 3. Przepływności bitowa, w trybie odporności A (fala przyziemna) w bit/s

Parametry pracy	Szerokość pasma [kHz]		
	4,5	5	9
64QAM, CR 0,5	9392,5	10620	19695
64QAM, CR 0,6	11272,5	12740	23625
64QAM, CR 0,71	13305	15045	27892,5
64QAM, CR 0,78	14745	16660	30910
16QAM, CR 0,5	6262,5	7080	13125
16QAM, CR 0,62	7827,5	8850	16412,5

### 3. PARAMETRY PLANISTYCZNE

Ze względu na fizykę rozchodzenia się fal radiowych, w tych zakresach częstotliwości podczas odbioru w dzień głównie wykorzystywana jest fala przyziemna a właściwie jej składowa zwana falą powierzchniową. Szczegółowe informacje dotyczące propagacji dla systemów pracujących w pasmach LF, MF i HF wykorzystujących falę powierzchniową jak i falę jonosferyczną przedstawiono w Referacie [5]. Ze względu na wspomnianą wyżej specyfikę rozchodzenia się fal dla tych zakresów, dla każdego z nadajników systemu DRM należy odrębnie wyznaczać zasięgi dzienny i nocny.

Do wyznaczenia zasięgu dziennego należy bezpośrednio zastosować metody obliczeń propagacyjnych właściwe dla fali powierzchniowej. Ogólnie znana taka metoda przedstawiona jest w Zaleceniu ITU-R P.368-7 [6].

Wymagane wartości minimalne pola oraz poziomy zakłóceń przemysłowych znaleźć można w zaleceniu ITU-R [3] oraz w materiałach EBU [2, 4].

Tab. 3. Minimalne użyteczne natężenie pola ( $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ ) dla DRM tryb A na falach średnich w warunkach propagacji fali przyziemnej [2]

Modulacja	Poziom ochronny	Sprawność kodu	Typ zajętości widma	
			A/0 (4.5 kHz), A/1 (5 kHz)	A/2 (9 kHz), A/3 (10 kHz)
16-QAM	0	0.5	33.3	33.1
	1	0.62	35.4	35.2
64-QAM	0	0.5	38.8	38.6
	1	0.6	40.3	39.8
	2	0.71	42.0	41.6
	3	0.78	43.7	43.2

Tab. 4. Minimalne użyteczne natężenie pola ( $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ ) dla DRM tryb A na falach średnich w warunkach propagacji fali przyziemnej z falą jonosferyczną[2]

Modulacja	Poziom ochronny	Sprawność kodu	Typ zajętości widma	
			A/0 (4.5 kHz), A/1 (5 kHz)	A/2 (9 kHz), A/3 (10 kHz)
16-QAM	0	0.5	34.3	33.9
	1	0.62	37.2	37.0
64-QAM	0	0.5	39.7	39.4
	1	0.6	41.1	40.8
	2	0.71	44.2	43.7
	3	0.78	47.4	46.5

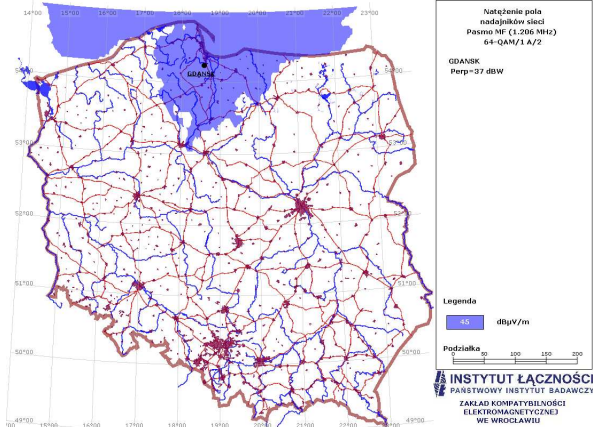
## 4. ANALIZY ZASIĘGÓW SFN DLA SYSTEMU DRM

Analizy zasięgów sieci jednoczęstotliwościowych SFN dla systemu DRM przedstawiono dla sieci składających się z 4 stacji. W analizach uwzględniono zasięg dzienny, a więc falę przyziemną oraz metodę sumowania mocy pól poszczególnych stacji. Większość rzeczywistych tras propagacji stanowią trasy niejednorodne, które składają się z odcinków o różnych parametrach elektrycznych gruntu. Dla tego typu tras mieszanych, do wyznaczania wartości natężenia pola fali powierzchniowej w punkcie odbioru zastosowano półempiryczną metodę Millingtona [5, 6]. Obliczenia wykonano przy pomocy własnego systemu wykorzystującego cyfrową mapę konduktywności gruntu opracowaną i oprogramowaną w Instytucie Łączności.

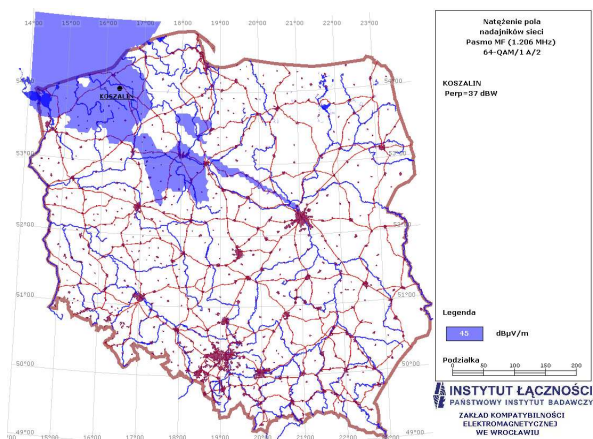
Tab. 5. Analizowane stacje

Stacja	Lokalizacja	f [kHz]	Hant [m]
Gdańsk	18E35''00' 54N14''00'	1206	108
Koszalin	16E22''00' 54N01''00'	1206	118
Szczecin	14E34''00' 53N30''00'	1206	109
Olsztyn	20E35''00' 53N51''00'	1206	118

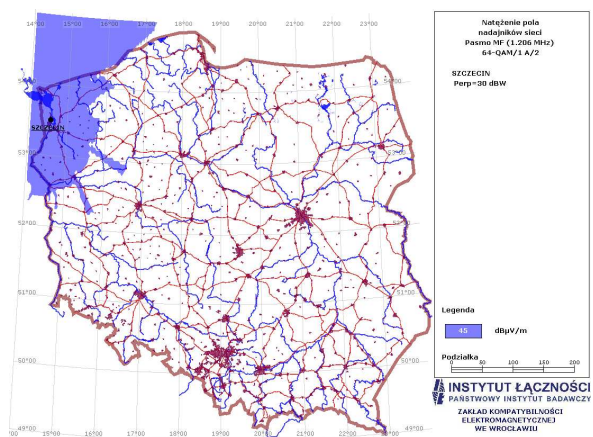
Na rysunkach 1 do 9 przedstawiono wyniki przeprowadzonych analiz zasięgów dla analizowanych stacji. Na rysunkach od 1 do 4 przedstawiono zasięgi stacji pojedynczych każdej z osobna. Na rysunku 5 przedstawiono zbiorczo na jednej mapie zasięgi czterech stacji jako maksymalną wartość natężenia pola, nie jest to jednak zasięg sieci SFN tych stacji, który uwzględniałby zysk sieciowy. Zasięg sieci SFN w tym



Rys. 1. Zasięg stacji Gdańsk 5kW,  $E_{min}=45$  dBμV/m

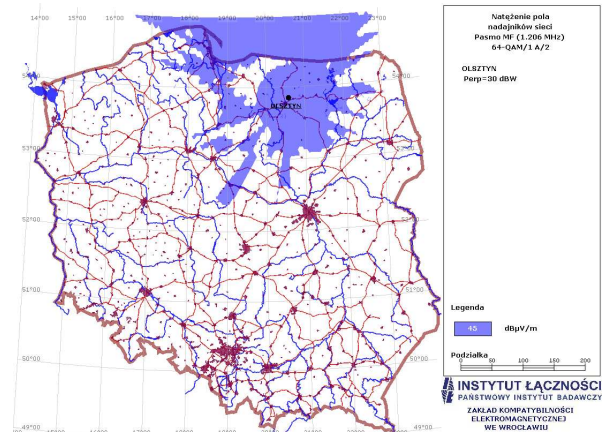


Rys. 2. Zasięg stacji Koszalin 5kW,  $E_{min}=45$  dBμV/m

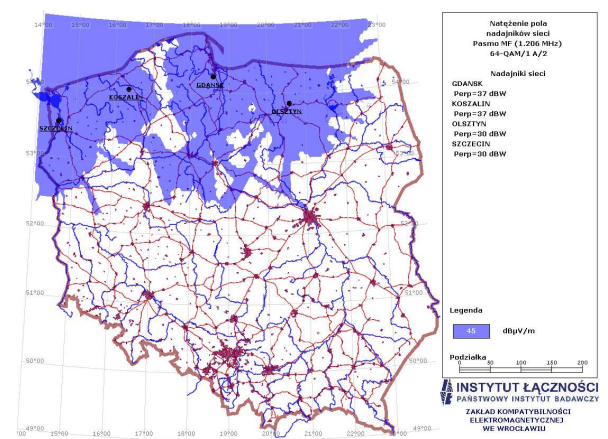


Rys. 3. Zasięg stacji Szczecin 1kW,  $E_{min}=45$  dBμV/m

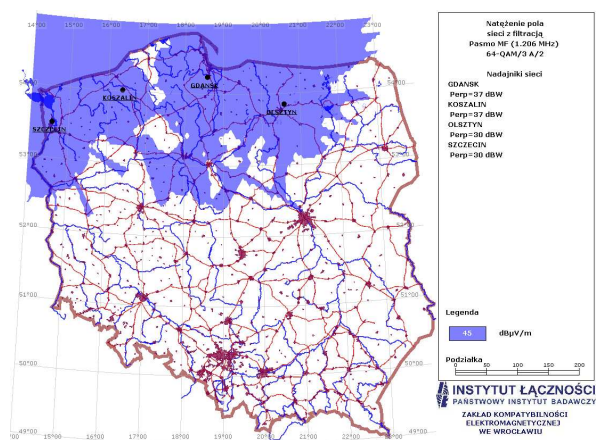
przypadku przedstawia rysunek 6. Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono odpowiednio, łączne natężenie pola od poszczególnych stacji oraz zasięg sieci SFN dla mocy stacji 10 kW. Z porównania tych rysunków widać wyraźnie wzrost zasięgu w przypadku analizy sieci jedno-częstotliwościowej SFN dzięki powstającemu zyskowi sieciowemu.



Rys. 4. Zasięg stacji Olsztyn 1kW,  $E_{min}=45$  dBμV/m

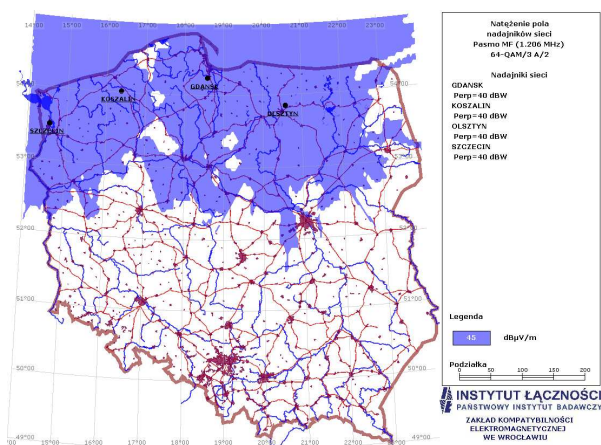


Rys. 5. Natężenie pola od stacji Szczecin, Koszalin, Gdańsk, Olsztyn (pojedyncze zasięgi na jednej mapie – nie zasięg sieci SFN),  $E_{min}=45$  dBμV/m

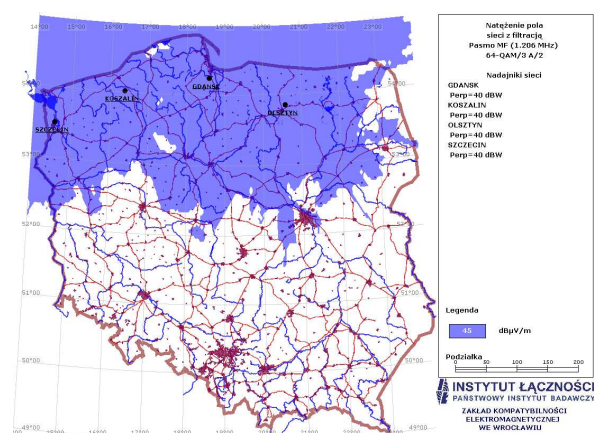


Rys. 6. Wypadkowy zasięg sieci SFN DRM,  $E_{min}=45$  dBμV/m

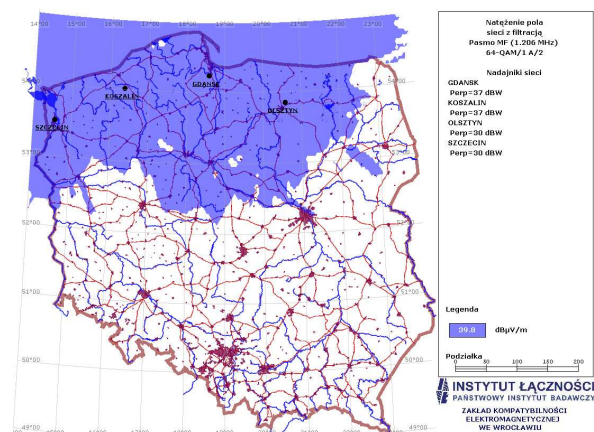




Rys. 7. Natężenie pola od stacji Szczecin, Koszalin, Gdańsk, Olsztyn (pojedyncze zasięgi na jednej mapie – nie zasięg sieci),  $E_{min}=45 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ , stacje po 10 kW



Rys. 8. Zasięg sieci SFN DRM,  $E_{min}=45 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ , stacje po 10 kW



Rys. 9. Zasięg sieci SFN DRM,  $E_{min}=39,8 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

## 5. PODSUMOWANIE

Przedstawione przykładowe analizy zasięgów sieci SFN DRM wskazują na pozytywny wpływ efektu zysku sieciowego na wypadkowy zasięg. Potwierdza to dodatkową korzyść jaką niesie stosowanie sieci jedno-częstotliwościowych, poza oczywistą, którą jest brak konieczności wykorzystywania dodatkowych częstotliwości, czyli poprawa efektywności wykorzystania widma radiowego.

Analizy wykonane na cyfrowej mapie konduktywności wskazują na możliwość analizowania precyzyjnych szczegółowych zasięgów fali przyziemnej w zakresie poniżej 30 MHz. Pozwala to na dość dokładne planowanie zasięgu przyszłych stacji i sieci DRM czy innych systemów w zakresach poniżej 30 MHz.

Kryteria planistyczne występujące w dokumentach międzynarodowych powinny być zweryfikowane pomiarowo w warunkach krajowych. Np. pomiary przeprowadzone w Hiszpanii wskazały na nieco wyższe (o kilka dB) wymagane wartości pól w stosunku do wartości teoretycznych, przyjęcie kryteriów o kilka dB wyższych nieznacznie zmniejszyłoby wypadkowy zasięg sieci.

W przypadku zasięgu nocą dodatkowo występująca fala jonosferyczna także ma wpływ na zwiększenie wypadkowego zasięgu sieci SFN. Wpływ fali jonosferycznej, nie był jednak przedmiotem analiz w niniejszym referacie.

System DRM jest ciekawą możliwością emisji sygnałów radiofonicznych o jakości FM w sytuacji istniejących wolnych zasobów częstotliwości oraz wyczerpywaniem zasobów widma w zakresie UKF FM. Jednak jego wykorzystanie będzie zapewne ograniczone w związku ze słabą dostępnością odbiorników oraz coraz większym zainteresowaniem nadawców systemami cyfrowymi o większych możliwościach technicznych.

## SPIS LITERATURY

- [1] ITU-R BS.1514-1, System for digital broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz.
- [2] EBU Tech3330, Technical Bases for DRM Services Coverage Planning, EBU, 2008
- [3] ITU-R BS.1615. "Planning parameters" for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz, 2003
- [4] EBU BPN 082, Technical Bases for DRM Services Coverage Planning, EBU, 2007
- [5] M. J. Grzybowski, J. Wroński, J. Kwolek, „Obliczenia propagacyjne dla systemu DRM”, KKRRiT, Kraków, 2005
- [6] ITU-R, Recommendation P.368-7, Ground-wave propagation curves between 10 kHz and 30 MHz, 2004