

Kraków, 15-17 czerwca 2005

PLANOWANIE SIECI JEDNOCZĘSTOTLIWOŚCIOWEJ DVB-T

Streszczenie: W referacie omówiono podstawowe problemy planowania sieci jednoczęstotliwościowej (Single Frequency Network SFN). Wykonano próbę implementacji sieci dla wybranego obszaru rezerwacji, przedstawiono wyniki obliczeń zasięgów. Dokonano oceny wyników pod kątem przyszłych implementacji obszarów rezerwacji.

1. WSTĘP

System naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T, dzięki unikalnym cechom modulacji OFDM z odstępem ochronnym umożliwia transmisję w sieci wielu nadajników nadających na tej samej częstotliwości (sieć jednoczęstotliwościowa SFN – *Single Frequency Network*), co zapewnia niezwykle efektywne wykorzystanie widma radiowego w systemach naziemnej radiodifuzji. Dzięki sumowaniu sygnałów pochodzących z różnych nadajników występuje efekt zysku sieciowego (*network gain*) objawiający się tym, że w punkcie odbioru wypadkowe natężenie pola elektrycznego jest większe niż natężenia pól pochodzące od poszczególnych nadajników sieci.

Transmisja w sieci jednoczęstotliwościowej oznacza nie tylko sumowanie sygnałów użytecznych, ale także powstanie zakłóceń wewnątrz sieciowych (*self-interference*), w przypadku, gdy różnica czasów opóźnień sygnałów pochodzących od różnych nadajników przekracza czas trwania odstępu ochronnego (*guard interval*). Stąd przy projektowaniu sieci SFN należy dokonać kompletnej analizy sygnałów użytecznych i zakłócających tak, aby wyznaczyć prawdopodobieństwo pokrycia w zadanym trybie odbioru (stacjonarny, przenośny, w ruchu). W trakcie regionalnej Konferencji ITU RRC'06, która odbędzie się w 2006 roku, zostanie opracowany i przyjęty międzynarodowo plan sieci radiodifuzji cyfrowej m.in. dla krajów europejskich. Plan ten składać się będzie głównie z tzw. obszarów rezerwacji (*allotments*) charakteryzujących się zdefiniowanym obszarem geograficznym i częstotliwością pracy (kanałem TV). W ramach tych obszarów kraje będą musiały w przyszłości dokonać implementacji sieci tak, aby uzyskać żądane pokrycie na danych obszarach rezerwacji. Taka implementacja będzie możliwa zarówno za pomocą pojedynczych nadajników w trybie pracy wieloczęstotliwościowej MFN (*Multi Frequency Network*) jak również za pomocą sieci SFN. Właściwy dobór parametrów nadajników sieci oraz ich lokalizacji a także wybór trybów nadawania DVB-T będzie niezwykle istotny w celu zapewnienia odpowiedniego obszaru pokrycia sygnałem DVB-T.

2. PODSTAWY ANALIZ

W sieci SFN wszystkie stacje nadawcze pracują na tej samej częstotliwości transmitując tą samą treść. Zakładając, że odbiornik znajdujący się w pobliżu krańca pokrycia jednej stacji odbiera sygnały tego samego programu od kilku stacji. Sygnały te, chociaż zsynchronizowane w momencie nadawania, będą docierały do odbiornika z różnymi opóźnieniami. W przypadku, gdy opóźnienia sygnałów pochodzących od innych nadajników są mniejsze niż odstęp ochronny modulacji OFDM (*guard interval*) sygnały pochodzące od tych nadajników sumują się z sygnałem użytecznym.

Sygnały od znacznie odległych stacji będą przekraczały maksymalne opóźnienia, dopuszczalne dla sygnału OFDM. W miarę zwiększania odległości będzie wzrastała tendencja do wywoływania przez nie zakłóceń. Generowane w SFN własne zakłócenia sieciowe mogą być jednak utrzymane na dostatecznie niskim poziomie, dzięki właściwemu doborowi parametrów systemu. Jeżeli wystąpią luki w obszarze pokrycia sieci, można je wypełnić przez wprowadzenie dodatkowych stacji małej mocy, pracujących na tej samej częstotliwości. W przypadku przeszkód terenowych można stosować analogiczną technikę, co przy planowaniu sieci konwencjonalnej, tzn. strefy zacienione można pokryć stosując stacje uzupełniające. Przy możliwej dostatecznej separacji między anteną odbiorczą i nadawczą stacja uzupełniająca może pracować jak konwencjonalna stacja retransmisyjna, jednakże w sieci SFN - przy tej samej częstotliwości na wejściu i wyjściu.

Przy planowaniu i obliczaniu zasięgów sieci SFN należy uwzględnić statystykę sygnałów pochodzących z różnych nadajników danej sieci. Na wejściu odbiornika występują sygnały opóźnione, a sygnały o opóźnieniach wykraczających poza przedział ochronny mają istotny wpływ na pokrycie uzyskiwane przez sieć SFN. W celu przeprowadzenia przez odbiornik procesu estymacji parametrów kanału niezbędnej do przeprowadzenia koherentnej demodulacji oraz korekcji wykorzystuje się filtry interpolujące. Odtwarzają one odpowiedź kanału na podstawie sygnałów pilotujących. Filtry są tak zaprojektowane, aby ich pasmo czas analizy TF było większe od przedziału ochronnego T_g ($T_g = T_u/4$), a jednocześnie – z uwagi na ograniczenia teoretyczne – nie większe niż $T_u/3$, gdzie T_u oznacza czas trwania symbolu. Praktyczne wartości nie przekraczają $TF = (7/24)T_u$ [1]. Przedział ten odpowiada idealnym filtrom, składającym się z nieskończonej liczby elementów. W praktyce odbiornik będzie

miał znacznie krótszy przedział analizy. Sygnały docierające do odbiornika można podzielić na 3 rodzaje:

- opóźnienie mieści się w przedziale ochronnym T_g : sygnał traktowany jest jako sygnał użyteczny,
- opóźnienie sygnału jest większe niż T_g , ale mieści się w paśmie filtra TF : sygnał zostaje poprawnie skorygowany, jednak zostaje podzielony na składową użyteczną i składową zakłócającą,
- opóźnienie jest większe niż TF - taki sygnał należy w całości uznać za zakłócenie.

Sygnał wypadkowy tworzony jest na podstawie składania sygnałów cząstkowych, z uwzględnieniem czasów opóźnień i wielkości odstępu ochronnego oraz poprzez wykonanie sumowania statystycznego uwzględniającego parametry sygnałów składowych (k-LNM) [2].

W celu uzyskania optymalnego odbioru odbiorniki OFDM mogą wykorzystywać różne metody synchronizacji. W niniejszej analizie wykorzystano metody najprostsze i najbardziej intuicyjne oraz powszechnie stosowane: na najsilniejszy sygnał i na najbliższy nadajnik.

3. DANE WEJŚCIOWE

Jako testowy obszar do obliczeń wybrano jeden z planowanych obszarów rezerwacji w okolicy Wrocławia, w kanale 64 telewizji. Częstotliwość pracy wybrano ze względu na planowany obszar rezerwacji i jego częstotliwość pracy oraz wstępne uzgodnienia z krajami sąsiednimi przeprowadzone dla tego kanału. Wykorzystano rzeczywistą sieć lokalizacji nadajników jednej z sieci telefonii komórkowej leżących w tym obszarze rezerwacji. Wykonano próbę planowania przy wykorzystaniu dominującego nadajnika (Ślęza) oraz bez niego. Jako moc promieniowaną przyjęto dla wszystkich nadajników wstępnie 39dBW.

Obliczenia wykonano dla trybów pracy zdefiniowanych podczas Konferencji RRC'04 stanowiących modelowe konstrukcje odpowiadające 3 różnym wariantom odbioru (RPC1 – stacjonarny, RPC2 – przenośny na zewnątrz budynków, RPC3 – przenośny wewnątrz budynków).

Tab.1. Wymagane natężenie pola dla planistycznych konfiguracji odniesienia DVB-T

| Planistyczna konfiguracja odniesienia | RPC 1 | RPC 2 | RPC 3 |
|---|-------|-------|-------|
| Wymagane $E_{med(ref)}$ [dBμV/m] przy 650 MHz | 56 | 78 | 88 |

$E_{med(ref)}$ – minimalna mediana równoważnego natężenia pola

Przy innych częstotliwościach niż referencyjna f_r , stosuje się odpowiednią interpolację wartości natężenia pola zgodnie z [2].

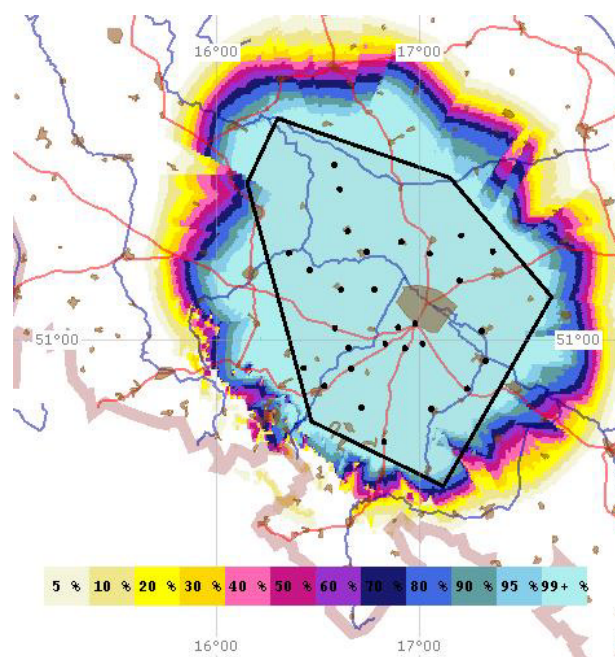
Dodatkowo wykonano analizy dla odbioru w ruchu z dużą prędkością (>100km/h), dla którego wybrano wariant transmisji 2k 16QAM kod 1/2, dla którego poziom minimalny C/N podany w [2] wynosi 21,5dB po uwzględnieniu marginesu 3dB, a odpowiadające mu na-

tężenie pola sygnału użytecznego 87,5 dBμV/m przy częstotliwości 818MHz.

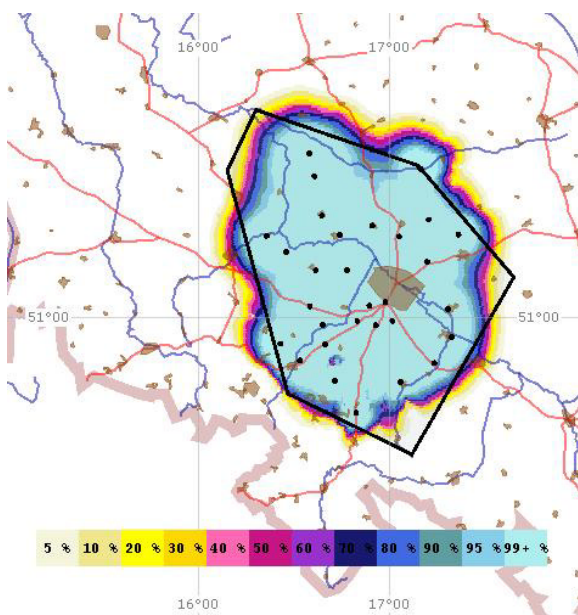
Obliczenia wykonano z uwzględnieniem cyfrowego modelu terenu oraz metody propagacyjnej ITU-R P.1546 przyjętej do obliczeń na Konferencji RRC [2,6]. Jako warianty systemu wybrano 8k 16-QAM kod 3/4 odstęp ochronny 1/4 dla odbioru stacjonarnego i przenośnego oraz 2k 16QAM 1/2 dla odbioru przewoźnego. Obliczenia wykonano dla wariantu odbioru stacjonarnego z anteną kierunkową i dla odbioru przenośnego z anteną dookólną. Zastosowano korektę natężenia pola ze względu na częstotliwość, dla odbioru stacjonarnego 2dB (dla 818MHz), dla odbioru przenośnego oraz ruchomego 3dB dla (818MHz).

4. WYNIKI OBLICZEŃ

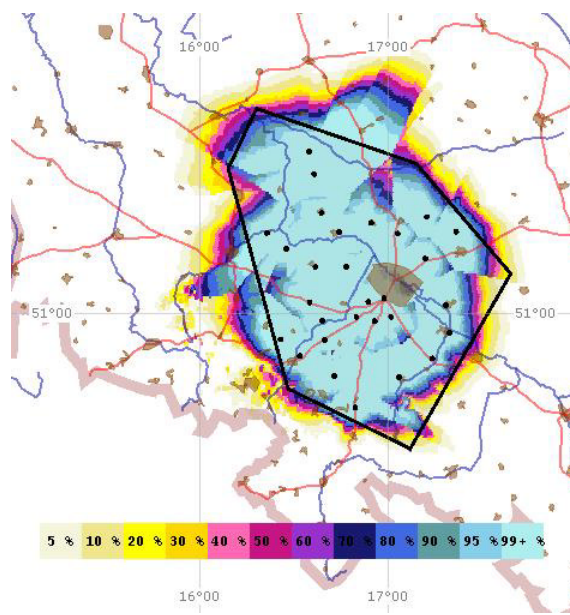
Wyniki zaprezentowano jako całkowite prawdopodobieństwo przestrzenne odbioru sygnału w 50% czasu. Kolory odpowiadają uzyskiwanemu w danym punkcie prawdopodobieństwu przestrzennemu zgodnie z legendą u dołu rysunku. Prawdopodobieństwo w 70% miejsc odpowiada odbiorowi zadowalającemu, w 95% miejsc odbiorowi dobremu. Na rysunkach przedstawiono zasięgi na tle obszaru rezerwacji i elementów charakterystycznych (drogi, rzeki, granica Państwa).



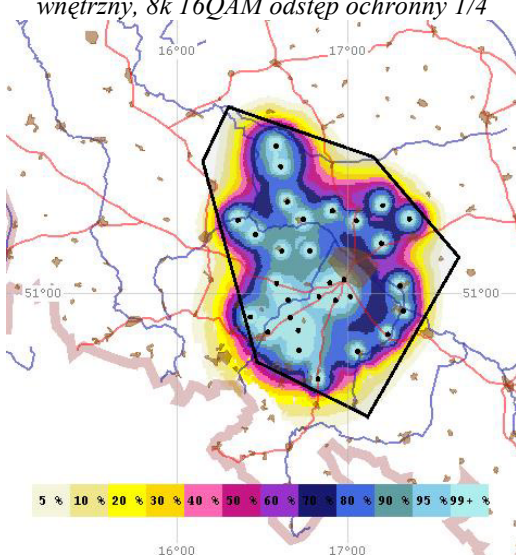
Rys.1. Zasięg sieci SFN (39dBW) odbiór stacjonarny, 8k 16QAM odstęp ochronny 1/4



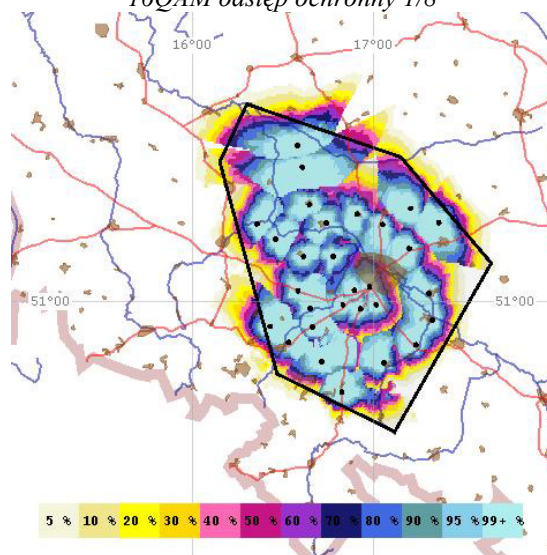
Rys 2. Zasięg sieci SFN (39dBW) odbiór przenośny zewnętrzny, 8k 16QAM odstęp ochronny 1/4



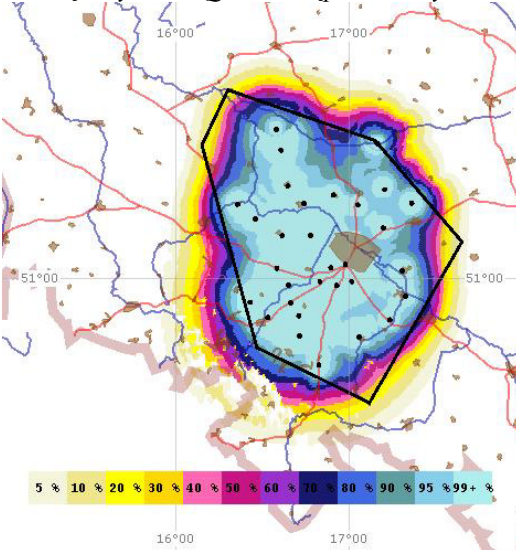
Rys. 5. Zasięg sieci SFN (39dBW) odbiór stacjonarny, 8k 16QAM odstęp ochronny 1/8



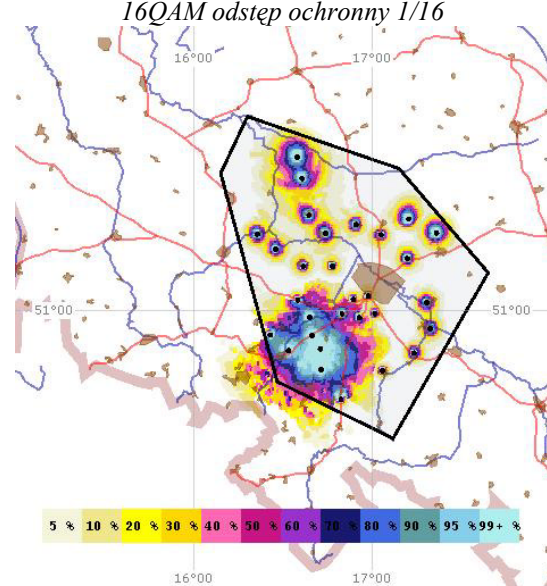
Rys 3. Zasięg sieci SFN (39dBW) odbiór przenośny wewnętrzny, 8k 16QAM odstęp ochronny 1/4



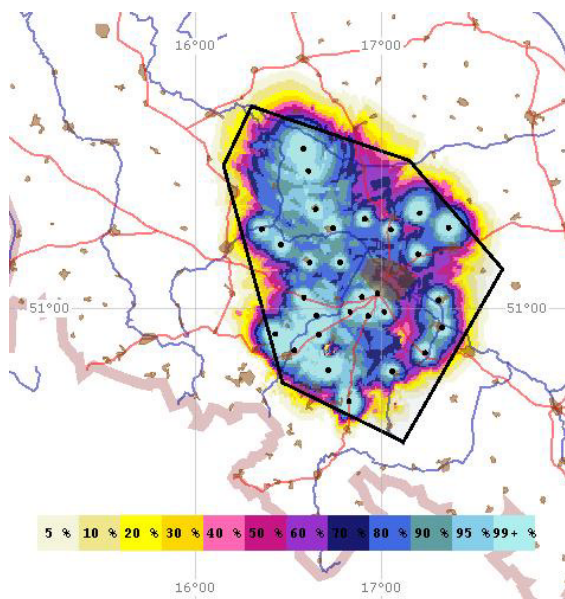
Rys. 6. Zasięg sieci SFN (39dBW) odbiór stacjonarny, 8k 16QAM odstęp ochronny 1/16



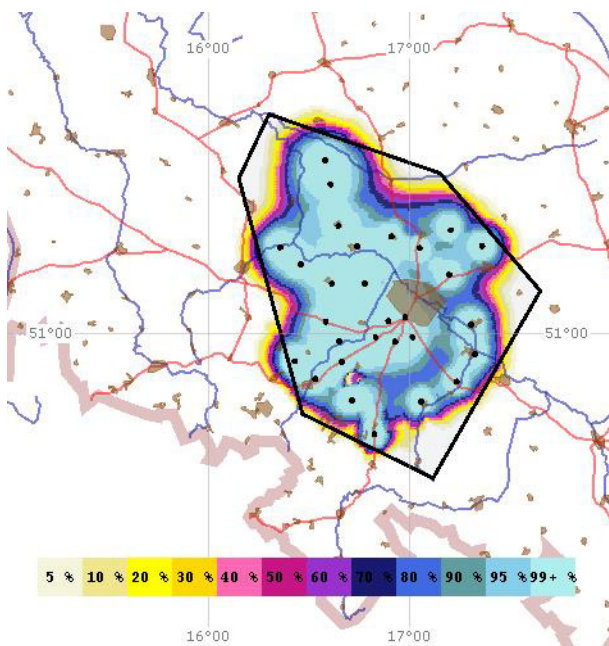
Rys 4. Zasięg sieci SFN (44dBW) odbiór przenośny wewnętrzny, 8k 16QAM odstęp ochronny 1/4



Rys. 7. Zasięg sieci SFN (39dBW) odbiór przenośny, 2k 16QAM odstęp ochronny 1/4



Rys. 8. Zasięg sieci SFN (39dBW) odbiór przewoźny, 2k QPSK odstęp ochronny 1/4 bez nadajnika Ślęza



Rys. 9. Zasięg sieci SFN (39dBW) odbiór przewoźny, 8k 16QAM, odstęp ochronny 1/4 bez nadajnika Ślęza

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Uzyskanie bardzo dobrego pokrycia (>95% miejsc) dla odbioru stacjonarnego i przenośnego zewnętrznego możliwe jest przy zastosowaniu sieci jednoczęstotliwościowej nadajników małej mocy (39dBW) bazujących na obiektach telefonii komórkowej, przy zastosowaniu trybu 8k odstęp ochronny 1/4.
2. Uzyskanie dobrego pokrycia (70% miejsc) dla odbioru przenośnego wewnętrznego wymaga zwiększenia mocy nadajników pracujących w sieci SFN do 44dBW.

3. Możliwe jest uzyskanie dobrego pokrycia (>70%) w warunkach odbioru stacjonarnego przy odstępach ochronnych 1/8 (wariant 8k). Nie jest to możliwe dla odstępów 1/16 bez zwiększania liczby nadajników.
4. Uzyskanie satysfakcjonującego odbioru przewoźnego w trybie 2k 16QAM nie jest możliwe dla testowanej sieci nadajników nawet jeśli zostanie zwiększona moc nadajników. Wymagałoby to zwiększenia liczby nadajników.
5. Możliwe jest zapewnienie odbioru przewoźnego przy zastosowaniu trybu modulacji QPSK lub poprzez zastosowanie trybu 8k – lecz w tym ostatnim wypadku oznaczałoby ograniczenie maksymalnej dopuszczalnej prędkości pojazdów do ok. 100km/h.
6. Uzyskanie odbioru stacjonarnego wewnątrz obszaru rezerwacji możliwe jest przy wykorzystaniu pojedynczego nadajnika dużej mocy, lecz w takim wypadku nie jest możliwe uzyskanie wewnątrz całego obszaru rezerwacji odbioru przenośnego czy przewoźnego co możliwe jest do uzyskania jedynie w trybie SFN.

LITERATURA

- [1] R. Brugger, D. Hemingway, *OFDM Receivers – Impact on Coverage of Inter-symbol Interference and FFT Window Positioning*, EBU Technical Review, July 2003,
- [2] ITU-R, Regional Radiocommunication Conference RRC: *Report of the first session of the conference to the second session of the conference*, Geneva, May, 2004
- [3] Praca zbiorowa: *Studium koegzystencji wybranych cyfrowych systemów radiokomunikacyjnych*, Sprawozdanie nr P21/21300024/882/2004, Instytut Łączności, Wrocław 2004
- [4] O. Łotoczko, J. Sobolewski, D. Więcek, *Analiza możliwości implementacji Planu sieci obszarów rezerwacji*, Sprawozdanie nr P21/21400694/886/04, Instytut Łączności, Wrocław 2004
- [5] Praca zbiorowa: *Analiza i badanie kompatybilności elektromagnetycznej naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T, DVB-RCT, propozycja zasad planowania tych sieci w kraju i przygotowanie przykładowych planów*, Sprawozdanie nr Z21/21300073/839/2003, Instytut Łączności, Wrocław 2003
- [6] ITU-R Recommendation P.1546, *Method for Point-to-Area Predictions for Terrestrial Services in the Frequency Range 30 MHz to 3 000 MHz*, Geneva 2003
- [7] Więcek D.: *Modulacja OFDM*, Krajowa Konferencja Radiodifuzji i Radiokomunikacji, Poznań, maj 1998.