

OGRANICZENIA PLANOWANIA I PROJEKTOWANIA ROZLEGŁYCH SIECI JEDNOCZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH SFN TELEWIZJI DVB-T

Streszczenie: Przedstawiono główne czynniki mające wpływ na planowanie i projektowania rozległych sieci jednoczęstotliwościowych SFN naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. Wskazano na ograniczenia występujące zarówno w fazie planowania jak i później projektowania takich sieci, odniesiono się do konkretnej sytuacji występującej w Polsce w której uwzględniono aspekty i wymagania praktyczne występujące w kraju.

1. WSTĘP

Jedną z głównych cech systemów bazujących na technice transmisji OFDM [7] jest możliwość budowy sieci jednoczęstotliwościowych SFN (*Single Frequency Network*) [6, 8]. Dzięki zastosowaniu transmisji sygnału multipleksu na tej samej częstotliwości, możliwe jest uzyskanie obszaru pokrycia o powierzchni większej niż w przypadku stosowania pojedynczych nadajników, możliwe jest też uzyskanie lepszych warunków odbioru sygnału DVB-T [6]. Pozwala to na znacznie efektywniejsze gospodarowanie zasobami częstotliwości niż w przypadku transmisji wieloczęstotliwościowej MFN, która jest powszechnie wykorzystywana w przypadku telewizji analogowej. Sieci SFN w teoretycznym, akademickim ujęciu mogłyby pokrywać znaczne obszary – całego kraju lub nawet kilku krajów. W praktyce realizacja tak rozległych sieci napotyka na wiele przeszkód natury planistycznej - na etapie tworzenia i uzgadniania międzynarodowego Planu Cyfrowego, jak również na trudności projektowe na etapie przygotowywania projektów sieci. W referacie przedstawiono główne czynniki stanowiące ograniczenia występujące w planowaniu i projektowaniu tego typu rozległych sieci SFN, na przykładzie sieci naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T, które można odnieść także do innych sieci radiodifuzji cyfrowej bazujących na technice OFDM takich jak np. T-DAB/T-DMB czy DVB-H.

2. PRZYGOTOWANIA PLANU CYFROWEGO DVB-T

W ramach międzynarodowych prac prowadzonych pod auspicjami ITU i CEPT trwają przygotowania zmierzające do opracowania międzynarodowego planu częstotliwości dla naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T w ramach Regionalnej Konferencji Radiokomunikacyjnej ITU-R RRC'04-06 [1]. Podczas drugiej sesji tej Konferencji na przełomie maja i czerwca 2006 przyjęty zostanie Plan Cyfrowy dla sieci DVB-T m.in. dla wszystkich krajów europejskich. Przygotowania Planu Cyfrowego poprzedzone są pracami międzynarodowymi mającymi na celu ustalenie podstaw i zasad planowania jak również

wstępny projektami Planów dla grup krajów, które są uzgadniane przed Konferencją. Poprzedni plan, dla telewizji analogowej, tworzony był na bazie siatki regularnej w Sztokholmie w 1961 roku (ST'61) i z niewielkimi zmianami funkcjonuje do dziś. W celu prostszej implementacji DVB-T oraz łatwiejszego spełnienia warunków kompatybilności między DVB-T a TV analogową i innymi służbami radiowymi, zasadniczą częścią projektu Planu Cyfrowego opiera się na Planie ST'61. Zasada ta została wypracowana w trakcie międzynarodowych prac CEPT i ITU wskutek negocjacji przedstawicieli wszystkich krajów biorących udział w przygotowywaniu Planu Cyfrowego. Naczelną regułą była zasada równego dostępu do widma (*equitable access*), która w skrócie sprowadza się do uzyskania podobnych zasobów częstotliwości przez różne kraje, pozwalających na uzyskanie zbliżonej liczby pokryć całego terytorium kraju. Przyjęto, że każdy kraj powinien mieć dostęp do 6-7 pokryć ogólnokrajowych (multipleksów) pozwalających na transmisję min. 24 programów ogólnokrajowych, co w porównaniu z TV analogową oznacza kilkukrotny wzrost. Przyjęte w toku prac międzynarodowych zasady planowania sieci zostały sprowadzone do koordynacji tzw. obszarów rezerwacji (*allotments*), które oznaczają przydzielony danemu krajowi kanał częstotliwości w powiązaniu z obszarem definiowanym przez punkty testowe określające granice wykorzystywania tego kanału. Ponieważ uzgodniono, że punktem wyjścia będą obszary odpowiadające w Przybliżeniu pokryciom uzyskiwanym w ramach ST'61, niemal wszystkie kraje zgłosiły zapotrzebowania na Konferencję RRC'06 bazujące na obszarach rezerwacji mocno skorelowanych z obszarami pokrycia stacji analogowych. Na podstawie teorii gospodarki widmem częstotliwości radiowych wiadomym jest, iż stosowanie większych obszarów pokrycia, wykorzystujących daną częstotliwość oznacza efektywniejsze wykorzystanie widma częstotliwości radiowych [4]. Stąd część krajów w trakcie przygotowań do Planu cyfrowego starała się stosować stosunkowo duże obszary pokrycia możliwe do realizacji wyłącznie w technice SFN. Gdyby zastosować zasadę obowiązującą wszystkich, narzucającą konieczność stosowania równie dużych obszarów rezerwacji przez wszystkie kraje można byłoby zapewnić efektywne wykorzystanie widma oraz zagwarantować spełnienie zasady równego dostępu do widma. Jednakże w przypadku wykorzystywania różnych koncepcji zagospodarowania pasma przez różne kraje, a zwłaszcza planowanie wielu allotmentów o stosunkowo niewielkich obszarach pokrycia, praktycznie uniemożliwia równoczesne spełnienie

obu wymienionych wyżej celów. W sytuacji, gdy wiele krajów zgłasza zapotrzebowania na wiele stosunkowo niewielkich obszarów rezerwacji w oparciu o przydziały ST'61, inny kraj - zgłaszający znacznie większe obszary rezerwacji uzyskałby mniejszą od sąsiadów część widma radiowego, a dodatkowo miałyby ogromne trudności z uzgodnieniem swojego planu z sąsiadami, którzy bazując na przydziałach ST'61 zapewne nie zgodziliby się na skoordynowanie rozległego obszaru rezerwacji. Np. chęć wykorzystania jednego kanału TV na obszarze całego kraju w ramach ogólnokrajowej sieci SFN oznaczałaby konieczność wyłączenia tego kanału u wszystkich sąsiadów wokół w pasie ok. 100-200km od granicy kraju. Ze względu na zaburzenie międzynarodowego planu równomiernego przydzielania kanałów większość krajów sąsiednich odmówiłaby koordynacji międzynarodowej takiego kanału.

Można więc przyjąć, że na etapie przygotowywania Planu Cyfrowego możliwe byłoby zgłaszanie i próba koordynacji międzynarodowej co najwyżej regionalnych obszarów rezerwacji DVB-T. Tego typu plany, bazujące na strukturze geograficznej województw, były przygotowywane w Polsce w paśmie III. Ze względu na powszechne wykorzystywanie w Europie struktury obszarów rezerwacji bazujących na przydziałach ST'61, tego typu przydziały mogą być i są w stosunkowo prosty sposób uzgadniane międzynarodowo. Oznaczają one równomierny podział kanałów między różnymi krajami i nie powodują zaburzeń w wykorzystywaniu widma przez różne kraje, pozwalają też na zapewnienie warunków równego dostępu do widma. Należy podkreślić przy tym, że uzyskanie określonych zasobów na Konferencji RRC'06 nie oznacza, że dany kraj nie będzie mógł w przyszłości tych zasobów wykorzystywać w inny niż uzgodniony na Konferencji sposób. Jeśli np. dany kraj będzie zamierzał stosować rozległe sieci SFN może to zrobić wykorzystując przyznane na Konferencji zasoby oraz tak modyfikując ich wykorzystanie, aby nie spowodować zakłóceń do sieci innych krajów. Ponieważ obszary rezerwacji w głębi kraju nie podlegają właściwie zbyt dużym ograniczeniom międzynarodowym polityka ich wykorzystania będzie zależeć niemal wyłącznie od Administracji danego kraju. Dlatego niezwykle istotne jest, aby kraj w ramach Konferencji RRC'06 uzyskał jak największe zasoby widmowe, które następnie po Konferencji będzie mógł tak zmodyfikować, aby je w jak najlepszy i najefektywniejszy sposób wykorzystać. Wniosekowanie przez Administrację o rozległe sieci SFN na Konferencję RRC na etapie generowania Planu oznaczałoby zgłoszenie mniejszych potrzeb widmowych i w konsekwencji przyznanie mniejszych zasobów wnioskującemu krajowi, dlatego w zgłoszeniach administracji tego typu sieci praktycznie nie występują.

3. PROJEKTOWANIE ROZLEGŁYCH SIECI SFN

Na etapie projektowania konkretnej sieci SFN na bazie Planu Cyfrowego zapewniony musi być dostęp do skoordynowanego międzynarodowo kanału częstotliwości na całym obszarze sieci. Nie przedstawiono prób planistycznych sieci ogólnopolskiej SFN, ze względu na niemożność spełnienia warunku podanego wyżej. Stąd ze

względów praktycznych ograniczono się do sieci o mniejszym zasięgu terytorialnym obejmującej jednak znaczny obszar geograficzny, a mianowicie województwo Wielkopolskie. Ze względu na wielkość tego obszaru wszelkie wnioski uzyskane na bazie analiz sieci dla niego będą poprawne także dla innych sieci wielkoobszarowych SFN o zbliżonych i większych rozmiarach.

3.1. Podstawy projektowania

Zasadnicze elementy, które należy uwzględnić podczas projektowania sieci SFN opisano w [3, 6]. W niniejszym opracowaniu zwrócono uwagę na te elementy, które mają decydujący wpływ na sieci wielkoobszarowe.

Podstawowym elementem projektu sieci SFN jest wybór trybu transmisji DVB-T [6, 8]. W przypadku sieci SFN nie zaleca się emisji za pomocą modulacji 64QAM ze względu na trudności w uzyskaniu odpowiedniego pokrycia. Możliwe jest wykorzystywanie modulacji 16QAM lub QPSK jednakże w związku z wymaganiami odpowiedniej przepływności sygnału cyfrowego zaleca się tryb transmisji 16QAM. Ze względu na znaczne odległości między nadajnikami rozległej sieci SFN konieczne jest zastosowanie odstępu ochronnego Δ równego 1/4. Zapewnianie właściwej odporności na zakłócenia prowadzi do wyboru trybu transmisji B3: 16QAM, kod 3/4, odstęp 1/4 o dostępnej przepływności netto 14,93Mb/s.

Drugim bardzo ważnym czynnikiem, który musi być uwzględniony podczas projektowania rozległych sieci SFN są zakłócenia własne sieci (*self-interference*). Zakłócenia te powstają wskutek docierania do odbiornika sygnałów OFDM opóźnionych bardziej niż dopuszcza to stosowany odstęp ochronny. Jeśli odległość odbiornika od nadajników sieci przekracza ok. 67km wynikającą z maksymalnej wielkości czasu odstępu ochronnego (224 μ s), sygnały docierające powodują powstanie zakłóceń interferencyjnych. Konieczne jest w tym przypadku wyznaczenie sumy sygnałów zakłócających mających wpływ na degradację sygnału w sieci [1, 6]. Brak precyzyjnej analizy zakłóceń własnych sieci prowadziłyby do nadmiernie optymistycznych zasięgów sieci SFN, które w rzeczywistości nie mogłyby zostać osiągnięte.

Kolejnym istotnym elementem projektowania rozległych sieci SFN jest konieczność stosowania stacji małej mocy, najlepiej o nisko zawieszonych antenach generujących równomierny rozkład natężenia pola na obszarze całej sieci. W przypadku takich sieci nie jest możliwe wykorzystanie nadajników większej mocy, ze względu na fakt, iż w odległości odpowiadającej odstępowi ochronnemu (ok. 67km) od nadajnika pojawiałyby się bardzo duża składowa zakłócająca sygnału, w znaczny sposób degradująca lub wręcz całkowicie uniemożliwiająca poprawny odbiór. Stąd idealnym rozwiązaniem pozwalającym na budowę rozległych sieci SFN jest stosowanie równomiernie rozłożonych na całym obszarze stacji małej mocy o nisko zawieszonych antenach (<100m) minimalizujących zakłócenia własne sieci. Przyjęto regularną strukturę geometryczną nadajników, która w praktyce może być zastąpiona siecią rzeczywistą o w miarę regularnym rozłożeniu stacji na całym obszarze sieci. Większe nieregularności sieci oznaczać mogą pogorszenie warunków pracy i zmniejszenie zasięgów

stąd analiza w niniejszym opracowaniu ma cechy wariantu idealnego i optymalnego, który w rzeczywistych warunkach będzie miał nieco gorsze własności.

3.2. Analiza sieci rozległej SFN

Do analizy wybrano obszar województwa wielkopolskiego, który cechuje się stosunkowo dużą powierzchnią i może być reprezentacyjny dla rozległej sieci SFN. Obliczenia wykonano przy użyciu własnego oprogramowania dedykowanego do obliczeń zasięgów sieci SFN wykorzystującego własne metody [4, 5, 6], cyfrową mapę wysokości Polski Instytutu Łączności oraz model propagacyjny ITU-R P.1546 [2]. Obliczenia przeprowadzono dla następujących danych (Tab 1):

Tab. 1. Dane do obliczeń zasięgów

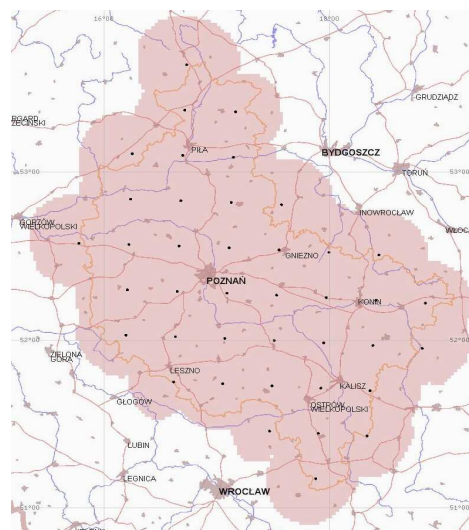
Częstotliwość	600	MHz
Moc promieniowana ERP	1	kW
Wysokość zawieszenia anteny nadawczej h_{ant}	75	m.n.p.t
Wysokość anteny odbiorczej	10	m.n.p.t
Procent pokrycia	95	%
C/Nmin (tryb B3)	16	dB
Emin	48	dB μ V/m

Wybrano klasyczny rodzaj odbioru stacjonarnego z anteną odbiorczą zawieszoną 10m n.p.t i częstotliwość nominalną 600MHz. W przypadku niższych częstotliwości zasięgi uzyskiwane będą minimalnie korzystniejsze a w przypadku częstotliwości wyższych nieco mniej korzystne, nie mają one jednak wpływu na wyciągnięte z analiz wnioski. Wartości wymaganego procentu pokrytych miejsc, minimalnego stosunku C/N oraz minimalnej wymaganej wartości natężenia pola sygnału użytecznego wyznaczono na bazie przyjętych międzynarodowo wartości [1]. W analizie uwzględniono charakterystyki odbiornika DVB-T, opóźnienia sygnałów OFDM, sumowanie sygnałów użytecznych i zakłócających [4, 5, 6].

W pierwszym podejściu wykonano analizę dla sieci SFN, w której odległości między nadajnikami wynoszą ok. 30km a nadajniki rozpięte są na regularnej siatce kwadratowej zapewniając równomierny rozkład natężenia pola. Wypadkowe natężenie pola sygnału użytecznego bez uwzględniania interferencji własnych sieci, a jedynie sumowanie sygnałów użytecznych mających wkład w powstanie tzw. zysku sieciowego pokazano na Rys. 1.

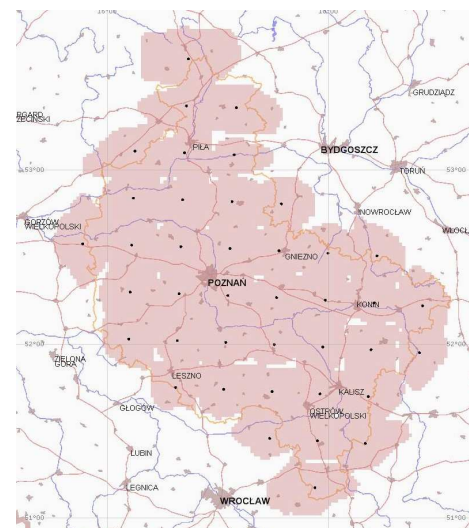
Jak widać, proste sumowanie sygnałów (zasięgów) oraz uwzględnienie wyłącznie zysku sieciowego ale nieuwzględnienie interferencji własnych sieci SFN może prowadzić do wniosku iż będzie zapewniony poprawny odbiór w całym obszarze sieci. Taki wniosek byłby uprawniony jedynie w przypadku sieci o rozpiętości do 67km, w których nie występują sygnały opóźnione bardziej niż wynika to z zastosowania odstępu ochronnego (interferencje własne).

W przypadku sieci rozległych szczegółowa analiza sieci polega na uwzględnieniu wypadkowych interferencji własnych sieci i prowadzi do korekty zasięgów użytecznych stacji wskutek ograniczenia zasięgów przez sygnały interferencji własnych sieci, co widać na Rys. 2.



Rys.1. Zasięg analizowanej sieci SFN $d=30$ km, ERP=1kW bez uwzględnienia interferencji własnych

Zasięg analizowanej sieci SFN po uwzględnieniu wszystkich czynników będzie następujący (Rys. 2).

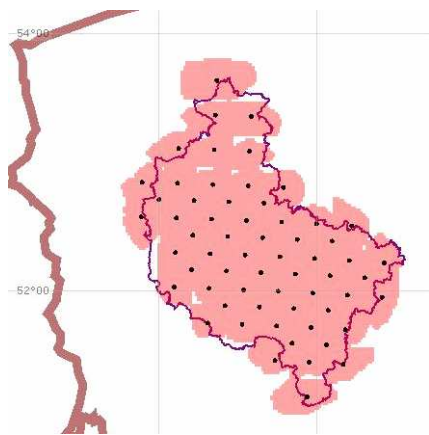


Rys.2. Zasięg analizowanej sieci SFN $d=30$ km, 1kW po uwzględnieniu interferencji własnych sieci

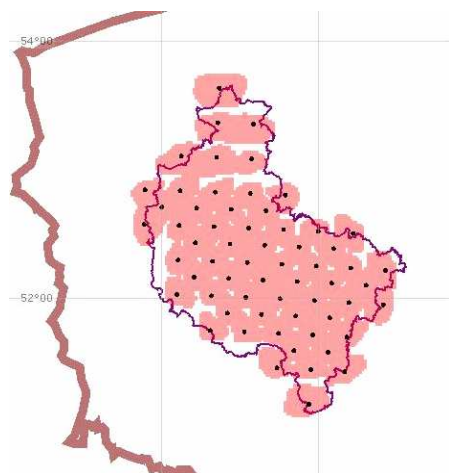
Jak widać, w obszarze sieci powstają miejsca interferencji własnych, w których prawidłowy odbiór nie jest zapewniony. Przy takiej strukturze sieci nie jest też możliwe uzyskanie lepszego pokrycia poprzez podniesienie mocy nadajników, ponieważ takie postępowanie prowadzi także do zwiększania składowych interferencyjnych sygnału i wypadkowy zasięg sieci nie ulega zwiększeniu. W analizowanej strukturze sieci: nadajników odległych o 30km, nie jest więc możliwe uzyskanie prawidłowego odbioru stacjonarnego w całym obszarze sieci. Aby zapewnić prawidłowy odbiór w takiej sieci należałoby zastosować odporniejszy na interferencje wariant transmisji (np. modulację QPSK) co oznaczałoby jednak znaczne zmniejszenie dostępnej przepływności sygnału cyfrowego. Chcąc utrzymać przepływność sygnału cyfrowego na poziomie ok. 15Mb/s konieczne jest zastosowanie bardziej zagęszczonej sieci nadajników.

W drugim podejściu dokonano zagęszczenia sieci nadajników tworząc siatkę regularną trójkątną o boku ok.

21km. W takiej strukturze sieci ok. 75 nadajników zapewniłoby pokrycie całego obszaru Wielkopolski w warunkach odbioru stacjonarnego (Rys. 3). W takiej sieci nie jest możliwe natomiast uzyskanie odbioru przenośnego czy mobilnego nawet w przypadku zwiększania mocy tych nadajników (Rys. 4). Aby tego rodzaju odbiór mógł być zapewniony konieczne byłoby zastosowanie jeszcze gęstszej struktury sieci nadajników czyli większej liczby nadajników.



Rys.3. Zasięg analizowanej sieci SFN $d=21\text{km}, 1\text{kW}$, po uwzględnieniu interferencji własnych sieci



Rys.4. Zasięg analizowanej sieci SFN $d=21\text{km}$, odbiór przenośny zewnętrzny, ERP nadajników 20kW

4. WNIOSKI

1. Na etapie planowania i uzgadniania międzynarodowego Planu Cyfrowego dla DVB-T uzgodnienie wielkoobszarowych sieci SFN dla Polski byłoby trudne do wykonania i niecelowe ze względu na ograniczanie w ten sposób możliwych do uzyskania dla Polski zasobów częstotliwości podczas RRC'06. Możliwe będzie jednak, o ile będzie taka wola nadawców, późniejsze powiększenie uzgodnionych międzynarodowo obszarów sieci SFN - po zatwierdzeniu Planu i po uzyskaniu określonych zasobów widmowych na RRC'06 - na drodze modyfikacji Planu.

2. Projektowanie czy nawet wymiarowanie wielkoobszarowej sieci SFN musi uwzględniać precyzyjne analizy interferencji własnych sieci i statystyczne sumowanie sygnałów użytecznych i zakłócających. Nie jest możliwe

w tym przypadku stosowanie uproszczonych metod, np. prostego sumowania zasięgów bezinterferencyjnych stacji.

3. Zapewnienie odbioru stacjonarnego wewnątrz wielkoobszarowej sieci SFN wymaga, jak pokazano, stosowania dość gęstej struktury nadajników, 1 stacja na ok. 400km². W praktyce, przy nieregularnej strukturze sieci, liczba wymaganych stacji może być jeszcze większa. Tańszym w tym przypadku dla nadawcy rozwiązaniem będzie zastosowanie dla odbioru stacjonarnego nadajników dużej mocy i kilku kanałów częstotliwościowych w sieci MFN lub w kilku ograniczonych sieciach SFN.

4. Zapewnienie odbioru przenośnego czy mobilnego w rozległej sieci SFN wymagałoby dalszego zwiększania liczby nadajników, co oznaczałoby ogromne koszty infrastruktury. Dużo tańszym sposobem zapewnienia takiego odbioru byłoby zastosowanie kilkunastu nadajników w sieci SFN o ograniczonych rozmiarach [6] gdzie nie występują zjawiska interferencji własnych sieci w przypadku odpowiedniego dobrania struktury sieci i parametrów sygnału.

Podsumowując można stwierdzić, że planowanie sieci SFN w każdym przypadku powinno uwzględniać precyzyjne analizy propagacyjno-sieciowe oraz kalkulację kosztów sieci i optymalizację jej struktury. Konieczne jest w tym celu posiadanie odpowiednich narzędzi informatycznych i znajomość metod projektowania i analizy sygnałów w sieci SFN. O ile rozległe sieci SFN są atrakcyjne pod względem efektywności wykorzystania widma, to w praktyce niewielu nadawców będzie się na nie decydować, ze względu na dużo wyższe koszty niż w przypadku sieci MFN czy też w przypadku ograniczonych obszarowo sieci SFN.

LITERATURA

- [1] ITU-R, Regional Radiocommunication Conference RRC: *Report of the first session of the conference to the second session of the conference*, Geneva, May, 2004
- [2] 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
- [3] Łotoczko O., Więcek D.: *Problemy implementacji stacji DVB-T na potrzeby planu RRC'06*, KKRRiT 2005, Kraków 2005
- [4] 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
- [5] Praca zbiorowa pod kier. D. Więcka: *Analiza warunków technicznych planowania wybranych sieci jednoczęstotliwościowych SFN naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T*, 21/21400755/965/05, W-w 2005
- [6] Sobolewski J., Więcek D.: *Planowanie sieci jednoczęstotliwościowej DVB-T*, KKRRiT 2005, Kraków
- [7] Więcek D.: *Modulacja OFDM*, KKRR, Poznań, 1998
- [8] Więcek D.: *Wybrane aspekty techniczne planowania sieci DVB-T*, KKRRiT 2003, Wrocław, 2003