

Dariusz P. Więcek
Instytut Łączności,
Swojczycka 38,
51-501 Wrocław
d.wiecek@il.wroc.pl



Gdańsk, 13 – 15 czerwca 2007

PROBLEMY TECHNICZNE WDRAŻANIA PLANU SIECI NAZIEMNEJ TELEWIZJI CYFROWEJ W POLSCE

Streszczenie: W referacie przedstawiono najważniejsze zagadnienia związane z wdrażaniem w Polsce sieci naziemnej telewizji cyfrowej bazującej na standardzie DVB-T. Omówiono podstawy planowania sieci, uwarunkowania międzynarodowe i krajowe wdrażania Planu GE'06, wskazano na możliwości konwersji sieci analogowych na cyfrowe, zaproponowano kolejność konwersji programów sieci TV analogowej. Omówiono metody i uwarunkowania implementacji Planu GE06: w warunkach sieci wieloczęstotliwościowych MFN i jednoczęstotliwościowych SFN, wskazano na problemy projektowania i optymalizacji sieci jednoczęstotliwościowych SFN DVB-T/DVB-H, wskazano na problemy kompatybilności wewnątrzsystemowej i między-systemowej, pokazano przykłady i wyniki analiz, podsumowano problemy implementacji w Polsce Planu GE'06 dla telewizji cyfrowej.

1. WSTĘP

Prace mające na celu uruchomienie naziemnej telewizji cyfrowej bazującej na standardzie DVB-T [1] i wyłączenie telewizji analogowej trwają od wielu lat w Europie i w Polsce. W większości zachodnioeuropejskich krajów szeroko uruchomiono transmisje w systemie DVB-T, powszechne i tanie stały się tunery (Set-Top-Box STB) lub odbiorniki zintegrowane (iDTV) bazujące głównie na systemie kompresji MPEG-2. W niektórych krajach (np. Holandia) już wyłączono emisje analogowe w telewizji, w innych termin całkowitego wyłączenia planowany jest na najbliższe lata (2007-2009), planuje się by na obszarze Wspólnoty Europejskiej po roku 2012 nie było naziemnych stacji emitujących program TV w sposób analogowy. Działania te, zmierzające do całkowitej cyfryzacji radiofonii i telewizji, tak bardzo popierane przez rządy wielu państw i Komisję Europejską, wynikają z wielu czynników o charakterze technicznym, politycznym, społecznym, rynkowym i gospodarczym. Przede wszystkim dostrzegana jest ogromna nieefektywność wykorzystania widma częstotliwości radiowych, tak cennego zwłaszcza w tym zakresie częstotliwości (poniżej 1GHz) gdzie uzyskiwane zasięgi naziemne są bardzo duże. W telewizji analogowej jeden program telewizyjny zajmuje 7-8MHz kanał, a w przypadku telewizji cyfrowej możliwe jest umieszczenie wielu programów telewizyjnych w tym samym kanale w zależności od zastosowanego systemu kompresji i oczekiwanej subiektywnej jakości programów. Przeciętnie w Europie emituje się od 5-6 progra-

mów telewizyjnych w jednym kanale TV (w jednym multipleksie) w przypadku kodowania MPEG-2 (możliwe jest emitowanie do 7 programów standardowej rozdzielczości (SDTV) w jednym multipleksie MPEG-2) aż do nawet 10-18 programów telewizyjnych w jednym kanale w przypadku kompresji MPEG-4 AVC (aktualnie 8-11 programów dobrej jakości SDTV przy obecnym poziomie technicznym koderów i multiplekserów). Oznacza to wielokrotnie efektywniejsze wykorzystanie widma radiowego, co pozwala z jednej strony na rozszerzenie naziemnej oferty programowej, z drugiej zaś możliwość odzyskania części widma radiowego w ramach tzw. dywidendy cyfrowej i przeznaczenia go na potrzeby przyszłych systemów telewizyjnych (HDTV czy telewizja mobilna do terminali przenośnych) czy też na potrzeby zupełnie innych służb radiowych (np. ruchome, lokalne sieci komputerowe itd.). Możliwość emisji większej liczby programów oraz uzyskania dodatkowego widma dla innych systemów pozwoli rządowi na uzyskanie większych wpływów z tytułów koncesji i zezwoleń jak również otworzy możliwości prowadzenia przetargów, konkursów czy aukcji na zwolnione częstotliwości, co również oznacza większe wpływy do budżetów państw. Należy również przy tym zaznaczyć, że telewizja cyfrowa to także możliwość emisji danych dodatkowych, także z zastosowaniem interaktywnego kanału zwrócenego, co pozwala na zaklasyfikowanie jej jako systemu powszechnego dostępu do usług cyfrowych przeciwdziałający wykluczeniu cyfrowemu i stanowiący element realizacji Strategii Lizbońskiej. Biorąc pod uwagę te liczne pozytywy wpływające z cyfryzacji telewizji naziemnej wiele krajów od lat prowadzi intensywne działania zmierzające do jak najszybszej cyfryzacji TV naziemnej, popiera je też od lat Komisja Europejska.

Poza zaangażowaniem i zainteresowaniem rządów działania zmierzające do cyfryzacji telewizji popierają firmy przemysłowe oraz nadawcy, zwłaszcza nowi lub mający do tej pory ograniczony dostęp do widma częstotliwości w systemie analogowym. Zainteresowanie przemysłu jest oczywiste i wynika z rozwoju i wymiany sprzętu nadawczo-odbiorczego, z kolei nadawcy uzyskają dostęp do pełnego (100% terytorium) i powszechnego zasięgu programów o bardzo dobrej jakości, możliwość emisji dodatkowych programów i usług, zastosowania dostępu warunkowego (CA), dźwięku wielokanałowego czy przyszłych programów HDTV. Z drugiej strony

część nadawców zasiedziały na rynku naziemnych emisji analogowych, posiadająca czy wykorzystująca rozbudowaną infrastrukturę nadawczą o dobrym zasięgu analogowym, może nie być zainteresowana szybką cyfryzacją, w związku z otwarciem w ten sposób widma dla nowych nadawców czy też w związku z powiększeniem zasięgu przez konkurencyjnych nadawców nieposiadających pełnego pokrycia ogólnokrajowego. Stąd wiele państw prowadzi działania regulacyjne zmierzające do przymusowego wyłączenia programów analogowych i uruchamiania kolejnych multipleksów cyfrowych nie zważając na zdarzające się negatywne zdania nadawców zasiedziały. Należy przy tym zauważyć, że zgodnie z decyzją podjętą na Konferencji ITU-R RRC'06 w Genewie w 2006 [3] roku prawna ochrona istniejących stacji analogowych zakończy się 16.06.2015 i po tej dacie niemożliwe będzie prowadzenie emisji analogowych na dotychczasowych zasadach nie tylko w Europie ale także w innych częściach świata (Afryka, Bliski Wschód, kraje byłego ZSRR). W praktyce nie będzie więc możliwe kontynuowanie emisji analogowej po tej dacie.

Cechy techniczne systemu DVB-T sprawiają, że jest on dużo atrakcyjniejszy dla odbiorcy niż dotychczasowa telewizja analogowa. Po pierwsze zwiększy się oferta programowa, po drugie dzięki odporności na odbicia fal i zaniki sygnału jakość odbioru będzie dużo lepsza (znikną „zjawy” wynikające z odbić fal, śnieżenie), pojawią się też możliwości dobrego odbioru za pomocą prostych anten przenośnych czy nawet w ruchu. W przypadku szerokiej implementacji usług dodatkowych i kanału zwrotnego zaistnieją nowe możliwości takie jak np. wideo na życzenie (VOD), przewodniki programowe (EPG) czy inne usługi interaktywne, także niezwiązane z programem telewizyjnym. Wszystko to sprawia, że zainteresowanie emisjami DVB-T, także emisjami testowymi w Polsce, jest spore, mimo ciągle braku atrakcyjnej oferty programowej (jedynie wybrane programy z oferty dostępnej naziemnie analogowo). Zainteresowanie to jest tym większe im gorszy jest odbiór (lub jego brak) emitowanych drogą naziemną programów analogowych. Znamienne są przykłady osób, które kupują odbiorniki DVB-T, tylko po to by móc oglądać jeden dodatkowy program telewizyjny - niedostępny w sposób analogowy tak jak miało to miejsce w okolicach Wrocławia w przypadku emisji w multipleksie niedostępnego w wielu miejscach analogowego programu TVN czy jak to ma miejsce nadal na Podkarpaciu, gdzie ludzie dzięki STB uzyskują dostęp do lokalnego programu TVP3 czy też niedawno – do odbioru TVP Sport. Zaoferowanie widzom nie jednego, ale kilku albo kilkunastu programów niedostępnych analogowo w wielu przypadkach będzie stanowić wystarczający bodziec do kupna STB.

Wszystkie wymienione czynniki wskazują na wagę problemu i konieczność podejmowania niezbędnych działań w zakresie przygotowania planów i implementacji sieci naziemnej telewizji cyfrowej. Prace te prowadzone są od lat w różnych instytucjach w kraju: Instytucie Łączności, Administracji (PAR, URT, URTIP, UKE), różne zespoły gromadzące przedstawicieli biznesu, nadawców, operatorów, administracji, nauki i rządu

(Platforma DVB, Zespół Międzyresortowy). Wdrożenie naziemnej telewizji cyfrowej oznacza bowiem nie tylko rozwiązywanie kwestii technicznych ale także, a może przede wszystkim kwestii biznesowych, społecznych, politycznych i prawnych. Ponieważ istnieją często sprzeczne interesy różnych grup i środowisk wypracowywanie konsensusu zajmuje sporo czasu, choć nie ulega wątpliwości, że cyfryzacja nastąpi prędzej czy później, nieuchronny jest bowiem termin roku 2015 i całkowitego zaprzestania emisji analogowej.

W referacie niniejszym podsumowano prowadzone w Instytucie Łączności przy współpracy z Administracją i zespołami krajowymi prace badawcze z zakresu cyfryzacji telewizji DVB-T dotyczące głównie zagadnień technicznych (sprawy pozatechniczne będą jedynie sygnalizowane). IŁ jest od wielu lat zaangażowany w przygotowywanie planów cyfryzacji, pierwsze analizy zostały przekazane Administracji już w roku 1998, w rok po przyjęciu ustaleń międzynarodowych odnośnie zasad koordynacji międzynarodowej stacji DVB-T na Konferencji w Chester w 1997 roku [12]. Na przestrzeni lat wspierano Administrację w pracach międzynarodowych (różnego rodzaju zespoły CEPT, ITU, RRC) tak by na Konferencji RRC'06 uzyskać korzystny dla Polski przydział kanałów dla telewizji cyfrowej. Wydaje się, że większość niezbędnych prac przygotowawczych do wdrożenia naziemnej telewizji cyfrowej została ukończona i problemy techniczne w większości zostały rozwiązane. Pozostałe kwestie techniczne będzie musiał rozwiązać operator multipleksu we współpracy z nadawcami, który będzie odpowiadał za realizację techniczną emisji programów w multipleksie cyfrowym. Przedstawione w niniejszym referacie wskazówki mogą być wykorzystane zarówno przez nadawców jak i przyszłych operatorów.

2. SYSTEM DVB-T

System DVB-T został zaprojektowany na bazie opracowanej wcześniej techniki kompresji MPEG-2 i techniki transmisji na wielu nośnych OFDM [14], norma systemowa powstała w roku 1995 a jej rewizja nastąpiła w roku 2004 [1].

System DVB-T umożliwia wykorzystywanie różnych trybów transmisji. Możliwe jest zastosowanie różnej liczby nośnych OFDM (2k lub 8k), różnych sposobów modulacji poszczególnych nośnych (QPSK, 16QAM, 64QAM) różnych sprawności kodowania oraz różnych wartości odstępów ochronnego dla poszczególnych symboli. Ogółem można określić 120 różnych trybów transmisji standardowej plus warianty z tzw. modulacją hierarchiczną [1]. Każdy z wariantów odznacza się innymi parametrami odnośnie dostępnej przepływności cyfrowej, odporności na zakłócenia (decydującej o zasięgu) czy możliwością konfiguracyjną sieci (poprzez wybór tzw. odstępów ochronnych). Wybór konkretnego wariantu transmisji zależy głównie od rodzaju przesyłanych informacji (liczby i jakości programów telewizyjnych) oraz rodzaju odbioru, jaki zamierza się osiągnąć: stacjonarny, przenośny czy ruchomy jak również związanego z tym uzyskiwanego zasięgu. Nie bez znaczenia jest

też sposób nadawania (SFN, MFN) i związane z tym wymagane odległości między nadajnikami w sieci.

Zasadniczą cechą systemu jest dobre zabezpieczenie transmisji przed błędami umożliwiające uzyskiwanie dużych zasięgów przy znacznie niższej mocy promieniowanej w stosunku do emisji analogowych oraz uodpornienie sygnału na zaniki wynikające z odbić od przeszkód terenowych (zjawisko wielodrogowości) oraz tolerancja efektu Dopplera umożliwiająca odbiór w ruchu dzięki specyficznym cechom transmisji w systemie OFDM [14]. Zastosowanie tzw. odstępów ochronnych umożliwia poświęcenie części dostępnej przepływności cyfrowej w celu wyeliminowania wpływu sygnałów odbitych (ech) za pomocą przedziału czasowego, w trakcie którego odbiornik nie analizuje sygnału a więc nie reaguje na docierające echa. Pozwala to z jednej strony na poprawę jakości odbioru w warunkach wielu odbić, z drugiej pozwala na stosowanie transmisji jednoczesnościowej, w której zsynchronizowane sygnały z różnych nadajników mogą być potraktowane jako sygnały odbite i w przypadku, gdy sygnały te docierają z opóźnieniem mniejszym niż przedział ochronny mogą być potraktowane jako składowa użyteczna wypadkowa sygnału OFDM. Dzięki tym właściwościom sieci SFN mogą być budowane na znacznych obszarach, wielokrotnie większych niż zasięgi poszczególnych stacji wchodzących w skład danej sieci. Jednakże w przypadku gdy odległości między stacjami w sieci zaczynają powodować opóźnienia między sygnałami większe niż maksymalna wartość przedziału ochronnego (224us) powstaje zjawisko interferencji własnych sieci, którego wpływ musi być również szczegółowo analizowany i uwzględniany w wypadkowym zasięgu sieci.

Każda nośna OFDM może być w systemie DVB-T modulowana za pomocą QPSK, 16QAM lub 64QAM. System QPSK zapewnia dużą odporność sygnału na zaniki i zakłócenia, jednak ilość transmitowanej informacji (maksymalnie 11 Mbit/s) raczej wyklucza jego stosowanie do transmisji kilku programów telewizyjnych SDTV dobrej jakości. Do wyboru w praktyce pozostają tryby 16QAM lub 64QAM, pierwszy dedykowany zasadniczo do odbioru przenośnego i w sieciach SFN a drugi do odbioru stacjonarnego głównie w sieciach MFN [17].

Ciekawym sposobem transmisji sygnału DVB-T jest też tzw. modulacja hierarchiczna. W tej metodzie transmisji strumień bitów dzielony jest na 2 oddzielne strumienie: pierwszy (HP- high priority) zapewniający minimalną jakość o niskiej przepływności a drugi (LP-low priority) zawierający informacje dodatkowe umożliwiające odbiór programu z lepszą jakością niż w strumieniu HP. Strumień HP+LP transmitowany jest w wersji 16QAM lub 64QAM i odbiornik potrafiący je oba poprawnie zdekodować uzyska wysoką jakość obrazu. W obszarach o słabym sygnale i małym stosunku C/N odbiornik potrafi jedynie określić, w której ćwiartce płaszczyzny konstelacji 16QAM lub 64QAM znajduje się aktualna faza sygnału i traktuje sygnał tak jakby transmitowany był w wariancie QPSK – na którym nadawany jest strumień HP. Dzięki temu w obszarach stosunkowo oddalonych od nadajnika, gdzie nie byłby możliwy od-

biór sygnału 16QAM, istnieje możliwość odbierania DVB-T w wariancie o ograniczonej jakości – tak jakby był nadawany tylko sygnał QPSK. Umożliwia to już w pierwszym okresie po uruchomieniu nadajnika uzyskanie bardzo dużego obszaru pokrycia DVB-T programami poprawnie odbieranymi ale o nieco niższej jakości. Odbywa się to jednak kosztem zasięgu dla wariantu o bardzo dobrej jakości (HP+LP, 16QAM), który spada ze względu na wzrost wymaganego C/N (ok.3-4dB). Dlatego należy wyważać korzyści wynikające z większego zasięgu o niskiej jakości i jednoczesnego zmniejszenia zasięgu dobrej jakości w przypadku wyboru takiego rodzaju transmisji.

Zasadniczo norma systemu DVB-T bazuje na kompresji MPEG-2 umożliwiającej, w zależności od zastosowanego trybu transmisji) emisję obecnie 4-7 programów standardowej rozdzielczości (SDTV) w jednym multipleksie cyfrowym wykorzystując tzw. multipleksowanie statystyczne polegające na przeznaczaniu niewykorzystywanej w danej chwili pojemności bitowej danego programu (w zależności od aktualnie przekazywanej treści ze zmienną przepływnością VBR) do celu transmisji innego programu, wymagającego akurat w tej chwili większej przepływności bitowej. Pozwala to na uzyskanie programów bardzo dobrej jakości przy wartości średniej 3-3,5Mb/s na jeden program. Są jednak kraje (np. Szwecja), które zdecydowały się na emisję jeszcze większej liczby programów w jednym multipleksie (>7) przy wykorzystaniu kompresji MPEG-2, decydując się tym samym na pogorszenie jakości programu telewizyjnego w zamian za większą liczbę dostępnych programów w multipleksie, takie rozwiązanie nie jest jednak zalecane ze względu na widoczne obniżanie jakości, analogiczne do zdarzającego się często w systemach DVB-S. Możliwe jest także zastosowanie wydajniejszych systemów kompresji (np. MPEG-4 H.264/AVC) wykorzystując do tego strumień transportowy MPEG-2 TS zgodnie ze specyfikacją techniczną ETSI TS 101154. Jednakże w takim przypadku mamy do czynienia z rozszerzeniem normy ETSI i do odbioru takiego sygnału standardowy odbiornik DVB-T musi zostać rozszerzony o dekodery wizji MPEG-4/AVC lub transkodery MPEG-4/MPEG-2. Zastosowanie wydajniejszej kompresji MPEG-4 AVC pozwala na emisję od 8 do 18 programów w jednym multipleksie (możliwa jest emisja średnio ok. 10 programów dobrej jakości, w praktyce obecnie kraje wykorzystujące tego typu emisję transmitują od 7 do 11 programów w multipleksie w zależności od zastosowanego trybu transmisji i modulacji DVB-T). Emisja przy wykorzystaniu MPEG-4 AVC jest na pewno nowocześniejsza i bardziej efektywna widmowo jednak oznacza inne niż powszechne, niestandardowe, droższe urządzenia odbiorcze (set-top-boxy) i brak (obecnie) odbiorników zintegrowanych. Stąd decyzja o wyborze takiego standardu musi uwzględniać nie tylko aspekty techniczne ale także inne, np. społeczne. Z drugiej strony trwają obecnie prace nad nową wersją standardu (DVB-T2), który oznacza nowy tor radiowy w związku ze zmienionymi metodami modulacji i kodowania oraz zastosowanie wydajniejszej kompresji wizji (np. MPEG-4 AVC). Założenia standardu mówią o lepszych parametrach emisji-

nych (odporności na zakłócenia), większej dostępnej pojemności multipleksu (w podstawowej, pierwszej wersji tzw. DVB-T2F (Fixed) min. o 30%, a w drugiej tzw. DVB-T2FX (Fixed Extended) min. o 100% pozwalając tym samym na emisję naziemną 4-6 programów wysokiej rozdzielczości HDTV w wersjach 1080i/720p jak i możliwość emisji 3-4 programów 1080p. Stąd można oczekiwać w przyszłości w Europie kolejnej wymiany urządzeń odbiorczych, tym razem na DVB-T2 wykorzystywanych do odbioru programów HDTV, a obecny standard emisji programów SDTV (czy to DVB-T MPEG-2 czy DVB-T MPEG-4) można uznać za przejściowy na drodze do HDTV. Robocza wersja normy DVB-T2F ma zostać przygotowana na początku roku 2008 a pierwsze emisje testowe i pilotażowe planuje się na lata 2009-2010. System DVB-T2FX ma powstać nieco później i z jego wdrażaniem będzie wiązała się konieczność wymiany instalacji antenowych (bierze się to stąd, iż rozważa się możliwość wykorzystywania np. technik MIMO).

3. PLANOWANIE SIECI DVB-T

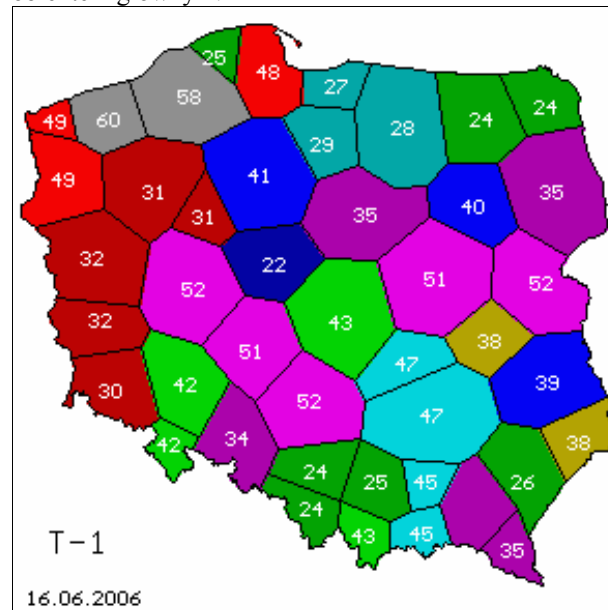
W trakcie Regionalnej Konferencji Radiokomunikacyjnej ITU-R na przełomie maju i czerwca 2006 (RRC'06) został opracowany i przyjęty w pasmach telewizyjnych VHF (174-230MHz) i UHF (470-862MHz) Plan Cyfrowy Genewa'06 (GE'06) [3] dla wszystkich krajów europejskich, afrykańskich, krajów Bliskiego Wschodu i krajów byłego ZSRR. Poprzedni tego typu plan podpisano w Sztokholmie w roku 1961 i obowiązywał aż do roku 2006. Założenia techniczne Planu jak również kryteria kompatybilności elektromagnetycznej z innymi systemami przygotowane zostały na bazie systemu DVB-T i kanałów o szerokości 7MHz (VHF) i 8MHz (UHF i VHF). Plan GE'06 składa się z tzw. wpisów obejmujących konkretne przydziały częstotliwości (stacje) z podaniem ich lokalizacji (tzw. assignments) a także obszary rezerwacji częstotliwości określające obszar geograficzny wraz z przyporządkowanym kanałem częstotliwości, (tzw. allotments), które nie mają zdefiniowanych konkretnych parametrów i lokalizacji stacji. Podejście takie zapewnia znaczną elastyczność w przypadku implementacji Planu, pozwalającą na dużą swobodę w wyborze lokalizacji stacji jak również ich parametrów technicznych. W Porozumieniu GE06 zawarte są reguły techniczne określające, kiedy implementacja wpisu Planu jest zgodna z nim a kiedy nie, pozwalające na sprawdzenie poprawności proponowanej do implementacji konfiguracji sieci.

Podpisanie Planu Genewa'06 (GE'06) w znaczący sposób wpłynie na przyspieszenie prac dotyczących cyfryzacji radiodifuzji naziemnej na świecie, w paśmie UHF emisje analogowe przestaną być legalne w roku 2015 a więc do tej daty powinna nastąpić całkowita cyfryzacja emisji naziemnej. Polska uzyskała na Konferencji, zgodnie ze zgłoszonym zapotrzebowaniem, 7 pokryć ogólnopolskich (multipleksów) DVB-T w paśmie UHF, 1 w paśmie VHF oraz 3 pokrycia T-DAB/T-DMB w paśmie VHF. Uzyskanie gwarancji wykorzystania częstotliwości poprzez wpisanie ich do Planu GE'06 spo-

wodowało znaczne przyspieszenie prac związanych z cyfryzacją – w niektórych krajach już wyłączono całkowicie emisję analogową, w innych planuje się całkowite wyłączenie emisji analogowej w 2008 -2009 roku.

Plan GE'06 będzie implementowany w oparciu o procedury Porozumienia GE'06, których celem jest zagwarantowanie utrzymania sytuacji kompatybilnej pracy z sieciami analogowymi (w okresie do 2015) i innymi sieciami radiowymi, uzyskanej w drodze analiz i deklaracji między krajami podczas Konferencji RRC'06. Ponadto na implementację Planu będą miały wpływ warunki lokalne – posiadana sieć obiektów nadawczych, morfologia terenu, tryby emisji, oczekiwania Państwa i nadawców a zwłaszcza koszty związane z budową infrastruktury sieci.

Na Rysunku 1 przedstawiono przykład Planu 1 multipleksu uzyskany przez Polskę na Konferencji. Na Planie zaznaczono liczbami kanały telewizyjne oraz odpowiadające im obszary rezerwacji oznaczające obszar, na którym dany kanał może być wykorzystywany. Z niemal każdym obszarem rezerwacji została związana stacja dużej mocy do niego należąca, która może być uruchomiona ze skoordynowanymi i wpisanymi do Planu parametrami emisyjnymi. Implementacja Planu w najprostszym przypadku oznaczać może uruchomienie wskazanych stacji dużej mocy z parametrami wpisanymi do Planu. Takie podejście zapewni bezproblemowe uruchomienie stacji dużej mocy (w przypadku braku konfliktów z sieciami analogowymi polskimi i zagranicznymi), jednak nie zapewni pokrycia ogólnokrajowego (np. >95% obszaru) ze względu na występujące luki w zasięgu. Obszary luk będą mogły być wypełnione za pomocą dodatkowych stacji w ramach sieci jednoczęstotliwościowej lub poprzez zastosowanie małych stacji przekaznikowych w tym samym kanale telewizyjnym (tzw. gap-filler). Implementacja Planu za pomocą obiektów dużej mocy przy pokryciu rzędu 99% oznaczać więc będzie dla operatora multipleksu konieczność uzupełnienia zasięgu i doplanowania stacji małej mocy współpracujących z obiektem głównym.



Rys. 1. Przykład Planu 1 Multipleksu (źródło: GE'06, UKE)

Plan może być również implementowany za pomocą stacji mniejszej mocy bez wykorzystywania wpisanych w Plan stacji dużej mocy. W takim wypadku istotna będzie obwiednia generowanych zakłóceń interferencyjnych przez projektowaną sieć (suma mocy zakłóceń wszystkich stacji sieci), która musi być mniejsza od zakłóceń odpowiedniej sieci odniesienia wpisanej w Plan GE'06. W koordynacji międzynarodowej takiej sieci możliwe będzie także porównanie zakłóceń generowanych przez sieć z zakłóceniami generowanymi przez stację dużej mocy oraz takie zaprojektowanie sieci by jej wypadkowe zakłócenia były mniejsze.

W przypadku systemu DVB-T na Konferencji RRC'04-06 [3] zaproponowano różne warianty sieci i ich konfiguracje służące do przygotowania Planu GE'06. Występują różnego rodzaju tzw. sieci odniesienia RN (*Reference Network*), z których dla warunków Europy Środkowo-Wschodniej uzgodniono jako referencyjną sieć wielkoobszarową RN1 dla trybu odbioru przenośnego tzw. RPC2 (*Reference Planning Configuration*). Ze względu na symetryczność sytuacji korzystne było stosowanie tego samego wariantu do obliczeń dla wszystkich krajów tego regionu. Sieć referencyjna pozwalała na wykonywanie obliczeń kompatybilności w sytuacji braku zaplanowanych konkretnych nadajników. Podstawowe parametry konfiguracyjne tego typu sieci zaprezentowano w Tabelach 1 i 2. Na Rysunku 2 pokazano schemat sieci RN1 i metodę wyznaczania zakłóceń

Tabela 1. Planistyczne Konfiguracje Odniesienia GE'06

RPC	RPC 1	RPC 2	RPC 3
Referencyjne prawdopodobieństwo lokalizacji	95%	95%	95%
C/N odniesienia (dB)	21	19	17
Referencyjne $(E_{med})_{ref}$ (dB(μ V/m)) dla $f_r = 200$ MHz	50	67	76
Referencyjne $(E_{med})_{ref}$ (dB(μ V/m)) dla $f_r = 650$ MHz	56	78	88

$(E_{med})_{ref}$: Wartość odniesienia dla minimalnej mediany natężenia pola

RPC 1: RPC dla odbioru stacjonarnego

RPC 2: RPC dla odbioru przenośnego zewnętrznego lub odbioru przenośnego wewnątrz budynku przy niskiej jakości lub dla odbioru ruchomego

RPC 3: RPC dla odbioru przenośnego wewnątrz budynku przy wysokiej jakości

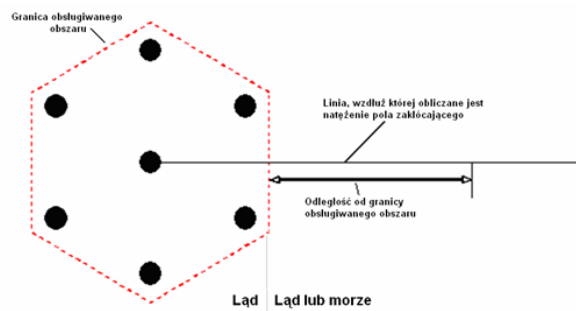
Dla innych częstotliwości minimalne wartości natężenia pola odniesienia z należy dostosować dodając współczynnik korygujący określony według następującego wzoru:

$$- (E_{med})_{ref}(f) = (E_{med})_{ref}(f_r) + \text{Corr};$$

$$- \text{dla odbioru stacjonarnego, } \text{Corr} = 20 \log(f/f_r),$$

gdzie f to częstotliwość rzeczywista a f_r to częstotliwość referencyjna stosownego pasma podana w tabeli 1;

- dla odbioru przenośnego i odbioru ruchomego, $\text{Corr} = 30 \log(f/f_r)$, gdzie f to częstotliwość rzeczywista a f_r to częstotliwość referencyjna stosownego pasma podana w Tabeli 1.



Rys. 2. Struktura sieci odniesienia RN1 (źródło: GE'06)

Struktura dla sieci RN1 jest typu „otwartego” – tzn. nadajniki sieci mają charakterystyki dookólne.

Tabela 2. Parametry sieci odniesienia

Planistyczna konfiguracja odniesienia RN1		RPC 2
Typ sieci		Otwarta
Geometria obsługiwane obszaru		Heksagon
Liczba nadajników		7
Geometryczny układ nadajników		Heksagon
Odległość d pomiędzy nadajnikami [km]		50
Rozmiar D obsługiwane obszaru [km]		115
Wysokości zawieszenia anten nadawczych [m]		150
Charakterystyki promieniowania anten nadawczych		Dookólne
ERP [dBW]	Pasmo III	36,2
	Pasmo IV/V	49,7

Przedstawione wyżej parametry i struktura sieci odniesienia służą do porównywania zakłóceń generowanych przez rzeczywiste, implementowane sieci, z zakłóceniami generowanymi przez odpowiednio zorientowaną geometrycznie sieć odniesienia. Szczegóły zorientowania przestrzennego sieci odniesienia w stosunku do granicy Państwa jak również procedury wyznaczania zakłóceń sieci odniesienia opisane są szczegółowo w materiałach Konferencji RRC'06[3]. Przykłady analiz porównawczych zakłóceń generowanych przez sieć odniesienia i pojedynczych stacji znaleźć można w [8].

Uwzględnienie interferencji generowanych przez rzeczywistą sieć jest jednak tylko jednym z elementów projektowania sieci i ma służyć uzyskaniu zgody (lub braku konieczności uzyskiwania takiej zgody, zgodnie z materiałami Porozumienia GE'06) w trakcie koordynacji międzynarodowej stacji z Administracjami krajów sąsiednich. Drugim, równie istotnym a może nawet istotniejszym elementem jest takie projektowanie sieci by uzyskać odpowiednie pokrycie terytorium kraju (zasięg).

3.1. Wyznaczanie zasięgów sieci

Planowanie zasięgu sieci jest procesem niezwykle złożonym w związku z występowaniem zakłóceń od sieci analogowych i cyfrowych polskich i zagranicznych i ich wpływem na zasięg sieci DVB-T oraz koniecznością analizowania sieci w warunkach jednoczesności

wych (SFN) gdzie wypadkowy sygnał zależy nie tylko od uzyskiwanego natężenia pola od pojedynczej stacji, ale jest wynikiem składania wielu sygnałów użytecznych i zakłócających podlegających rozkładowi statystycznym.

Pierwszym elementem planowania sieci DVB-T jest wyznaczenie wymaganego minimalnego natężenia pola sygnału użytkowego na podstawie wybranego wariantu systemu i oczekiwań odnośnie rodzaju uzyskiwanego odbioru (stacjonarny, przenośny). W przypadku planowanego w Polsce sposobu odbioru za pomocą anten stacjonarnych można założyć, że oczekiwana wymagana minimalna wartość natężenia pola wyniesie 56 [dBμV/m] dla częstotliwości 650MHz (wariant RPC1 GE'06) [3]. Dokładna wartość będzie zależała od konkretnego trybu systemu DVB-T zastosowanego do transmisji i dla każdego kanału będzie ponadto korygowana zgodnie ze wzorem korekcyjnym przedstawionym wyżej. Należy przy tym podkreślić, że wymagana minimalna wymagana wartość pola sygnału użytkowego jest tylko jednym z elementów planowania sieci i w małym stopniu decyduje ona o rzeczywistym zasięgu stacji. W środowisku, w którym pracuje i będzie pracować wiele stacji analogowych i cyfrowych o zasięgu stacji czy sieci decyduje sytuacja interferencyjna. Zasięg bezinterferencyjny uzyskiwany za pomocą analiz wykorzystujących tylko minimalną wartość natężenia pola można w większości przypadków uznać za bezużyteczny ze względu na zbyt optymistyczny wynik. Rzeczywisty zasięg sieci powinien uwzględniać spełnienie 3 warunków:

1. Zapewnienia minimalnego wypadkowego natężenia pola sygnału użytkowego (włączając w to sumowanie statystyczne rozkładów natężeń pól sygnałów pochodzących od różnych stacji sieci SFN [10,11]).
2. Poziomu interferencji zewnętrznych od innych sieci krajowych i zagranicznych (analogowych i cyfrowych i innych służb).
3. Poziomu interferencji własnych sieci SFN (wynikających z trybu transmisji i struktury sieci).

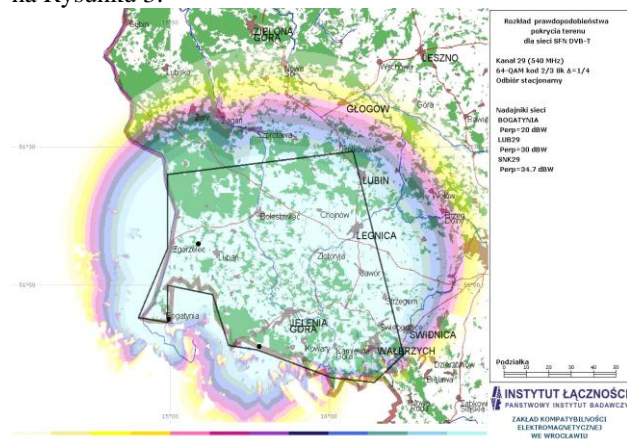
Na podstawie analizy ww. elementów wyznaczany jest wypadkowy rozkład prawdopodobieństwa pokrycia sygnałem w sieci, przy czym dobrym warunkom odbioru odpowiada osiągnięcie w danym punkcie wypadkowego prawdopodobieństwa równego 95%.

Dopiero uwzględnienie wszystkich ww. czynników pozwala na wyznaczenia poprawnego zasięgu sieci DVB-T, a nie tylko wskazania optymistycznie wyglądającego zasięgu bezinterferencyjnego w postaci rozkładu natężenia pola, co często praktykowane jest w innego rodzaju służbach radiowych (np. systemach RRL) gdzie występuje wiele przypadków, w których zakłócenia interferencyjne od innych stacji są pomijalnie małe i zasięg bezinterferencyjny w dobry sposób przybliża zasięg rzeczywisty. W telewizji naziemnej ze względu na znaczne moce setek stacji nadawczych i olbrzymie, często kilkusetkilometrowe obszary zakłócenia stacji, konieczność analizy zakłóceń jest podstawowym elementem wyznaczania zasięgu praktykowanym od wielu lat także w TV analogowej. W przypadku TV cyfrowej dochodzi jednak dodatkowy element w postaci sumowania zakłóceń interferencyjnych innych sieci SFN i uwzględniania wypadkowych zakłóceń interferencyjnych własnych sieci SFN.

Należy przy tym podkreślić, że warunki dobrego odbioru i parametry anten odbiorczych (charakterystyka, dyskryminacja, wysokość odbiorcza) są ściśle zdefiniowane w materiałach GE'06 i również one muszą być uwzględniane w procesie wyznaczania zasięgu sieci. Np. analizy w warunkach odbioru stacjonarnego muszą uwzględniać każdorazowo orientację anteny odbiorczej w punkcie odbioru uwzględniając wpływ jej charakterystyki na eliminację sygnałów użytecznych i zakłócających zarówno własnej jak i innych sieci.

Sygnał użyteczny dla stacji DVB-T jest wyznaczany dla wartości statystycznej przekraczanej w 95% miejsc w otoczeniu punktu odbiorczego przez 50% czasu. Natomiast sygnał zakłócający jest wyznaczany jako natężenie pola przekraczane w 50% miejsc i 1% czasu. W obliczeniach natężenia pola krzywe propagacji Porozumienia GE06 odpowiadają Zaleceniu ITU-R P.1546-2 [5]. W trakcie obliczeń rozkładu natężenia pola stosowane są korekty związane z ukształtowaniem terenu w rzeczywistych warunkach odbioru, stąd niezbędnym jest wykorzystywanie w analizach cyfrowego modelu terenu (DEM Digital Elevation Map) uwzględniającego wysokość terenu nad poziomem morza oraz wysokości dodatkowych przeszkód terenowych (lasu, zabudowań itp.).

W przypadku sieci jednoczęstotliwościowej SFN lub w przypadku stosowania nadajników uzupełniających (gap-filler) wyznaczenie wypadkowego sygnału użytkowego wymaga stosowania sumowania rozkładów natężeń pól pochodzących od różnych stacji sieci, uwzględniania opóźnień sygnału w stacjach retransmisyjnych oraz wzięcie pod uwagę charakterystyk synchronizacji odbiornika DVB-T [10,11]. Przykład zasięgu sieci SFN wyznaczonego w warunkach podanych wyżej pokazano na Rysunku 3.

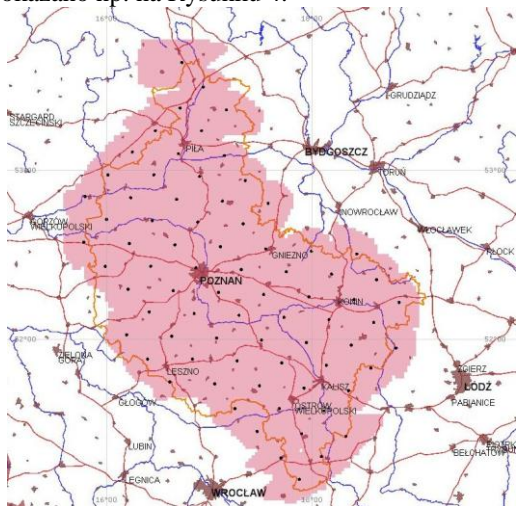


Rys. 3. Rozkład prawdopodobieństwa pokrycia sygnałem sieci SFN (przykład)

Na podstawie analiz różnych konfiguracji sieci SFN stwierdzono w większości przypadków poprawną współpracę stacji w przypadku zastosowania odstępu ochronnego 1/4 lub 1/8. Stosowanie krótszych odstępów ochronnych może być wykorzystywane lokalnie, w zależności od specyfiki warunków terenowych w pobliżu stacji, ale raczej nie jest wskazane. Każdorazowo zasięg sieci SFN musi być wyznaczany indywidualnie dla każdej konfiguracji nadajników i trybów DVB-T.

Sieci SFN są jedynym sposobem transmisji umożliwiającym emisję na tej samej częstotliwości po-

krywając przy tym znaczne obszary. Należy jednak stosować wówczas specyficzne metody transmisji: za pomocą stacji małej mocy nisko zawieszonych tak by zminimalizować wpływ zakłóceń własnych sieci [18]. Podczas analiz wykazano, że możliwe jest uzyskanie pokrycia rozległych obszarów, ale oznacza to konieczność stosowania dość gęstego układu nadajników (stacje co ok. 20km równomiernie rozmieszczone) i trybu 16QAM, co pokazano np. na Rysunku 4.



Rys. 4. Rozległa sieć SFN (przykład)

Tego typu sieć może być bardzo kosztowna ze względu na liczbę wymaganych nadajników, stąd jest ona w praktyce na świecie mało wykorzystywana. Rozległa sieć SFN wymaga również stosowania specyficznych trybów transmisji DVB-T a więc odstępu ochronnego 1/4 i modulacji 16QAM, co w efekcie oznacza stosunkowo niewielką dostępną przepływność bitową multipleksu (ok. 14Mb/s) i ograniczenia odnośnie liczby programów w multipleksie, natomiast w przypadku sieci stacji dużej mocy w warunkach odbioru stacjonarnego z powodzeniem można stosować wyższe tryby transmisyjne i modulację 64QAM - co oznacza znacznie większą dostępną przepływność bitową umożliwiającą transmisję 6-7 programów telewizyjnych w standardzie kompresji MPEG-2 i niemal dwukrotnie więcej w standardzie MPEG-4 H.264 AVC.

3.2. Optymalizacja sieci

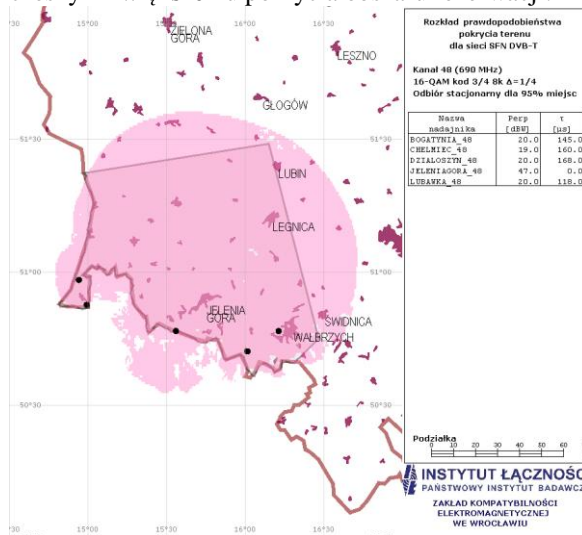
Jak już wspomniano sieć DVB-T może być implementowana na różne sposoby. Na podstawie Planu GE'06 operator otrzyma do dyspozycji obszar rezerwacji wraz z kanałem telewizyjnym oraz możliwość wykorzystania stacji dużej mocy związanej z tym obszarem. Uwzględniając wymagania generowanych zakłóceń GE'06 w stosunku do sieci odniesienia i do obwiedni interferencji stacji dużej mocy możliwe jest różnorodne zaimplementowanie obszaru rezerwacji: za pomocą różnych kombinacji i konfiguracji stacji leżących w tym obszarze. Każda z możliwych konfiguracji oznacza nieco inny koszt budowy i eksploatacji sieci oraz nieco inny wypadkowy zasięg.

Optymalizacja sieci DVB-T jest problemem złożonym i specyficznym dla tego rodzaju służby. Optymalizacja sieci SFN ze względu na rodzaj transmisji (radiodifuzyjna) dotyczy zapewnienia zasięgu (zdefiniowane

go w p.3.1) w warunkach minimalizacji kosztów budowy sieci (infrastruktury, CAPEX) i/lub kosztów operacyjnych (eksploatacja, OPEX). Funkcja kosztu może składać się z sumy (np. ważonej) obu składników lub może uwzględniać tylko jeden z nich.

Do specyfikacji służby radiodifuzyjnej zaliczyć można dość dobrze ustaloną strukturę potencjalnych stacji, które ze względu na spore moce wykorzystują głównie istniejące obiekty. Także liczba kombinacji mocy nadajników i charakterystyk anten jest mocno ograniczona. To wszystko sprawia, że w określonym układzie geometrycznym sieci dość szybko i dokładnie można znaleźć szukane optimum. Są znane także różnego typu algorytmy wspomagające optymalizację zarówno w sieciach SFN jak i w innych służbach radiowych (genetyczne, Simulated Annealing, sieci neuronowe, greedy itp.), które mogą w znaczny sposób skrócić czas potrzebny do wyszukania optimum w warunkach stałej mocy obliczeniowej. Należy przy tym podkreślić, że w sieci SFN DVB-T istotne jest znalezienie prawdziwego optimum (często nazywanego globalnym) a nie rozwiązania określanego jako optimum lokalne, dlatego większy nacisk należy położyć na kompletność i precyzyjność analiz niż na szybkość znalezienia jakiegokolwiek optimum. Znalezienie rozwiązania optymalnego nie musi być potem modyfikowane i w związku z tym jego szukaniu mogą być poświęcone znaczne moce obliczeniowe i długi czas.

Ciekawym efektem optymalizowania sieci może być np. uzyskanie wypadkowego kosztu infrastruktury niższego niż koszt pojedynczej stacji dużej mocy. Na Rys. 5 pokazano jako przykład wynik optymalizacji cechujący się wypadkowym kosztem CAPEX na poziomie niższym niż koszt związanego z tym obszarem pojedynczego nadajnika dużej mocy. Wynikowa struktura ma obniżoną moc nadajnika głównego i zastosowane dodatkowe nadajniki wspomagające małej mocy, przy jednoczesnym zwiększeniu pokrycia obszaru rezerwacji.



Rys. 5. Przykład optymalizacji sieci SFN

Należy też podkreślić, że zależnie od dostępności (lub nie) obiektów nadawczych i posiadanej infrastruktury wyniki optymalizacji mogą być różne, w zależności od tego kto będzie operatorem sieci i do jakich obiektów ma on dostęp, ze względu na niższe koszty związane z wykorzystywaniem własnych obiektów nadawczych.

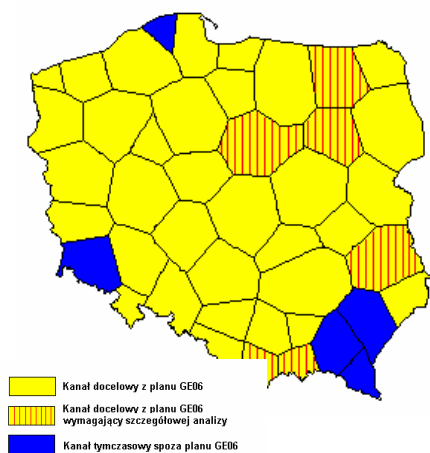
4. METODY WYŁĄCZEŃ SIECI ANALOGOWYCH

Jednym z najistotniejszych działań, które muszą zostać podjęte w celu wdrożenia naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T jest opracowanie sposobów wyłączenia sieci nadajników analogowych. W warunkach polskich możliwe jest uruchomienie 1 multipleksu ogólnokrajowego (Rysunek 6) oraz 2 multipleksu o pokryciu ok. 50% terytorium kraju bez żadnych wyłączeń nadajników analogowych (jedynie z drobnymi modyfikacjami przydzielonych kanałów dla stacji małej mocy). Oznacza to, iż w celu uruchomienia pełnego 2 i następnym multipleksów ogólnopolskich konieczne będą wyłączenia stacji TV analogowej dużej i średniej mocy.

Istnieją 3 zasadnicze metody wyłączania omówione pokrótce poniżej.

1. Wyłączenie wszystkich programów TV na całym terytorium kraju jednocześnie.

Wariant ten jest możliwy do realizacji ale wysoce ryzykowny w sytuacji małego nasycenia gospodarstw domowych w odbiorniki cyfrowe w chwili wyłączenia emisji analogowej. Ponieważ doświadczenia innych krajów dowodzą, że ludzie często wyczekują na zakup odbiornika do chwili wyłączenia TV analogowej, byłoby wysoce nieroztropne wyłączenie wszystkich nadajników analogowych w Polsce np. 1.01.2013r. ze względu na prawdopodobne problemy z nabyciem przez społeczeństwo w krótkim czasie wielu tysięcy odbiorników.

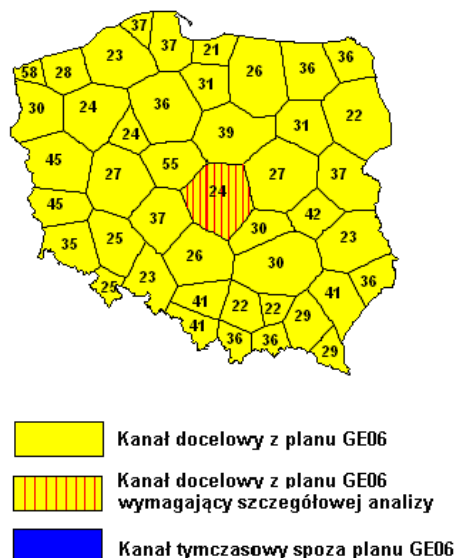


Rys. 6. Multipleks 1, niekolizyjny ze stacjami analogowymi.

2. Wyłączanie kolejne poszczególnych programów TV na całym terytorium kraju (konwersja programów analogowych).

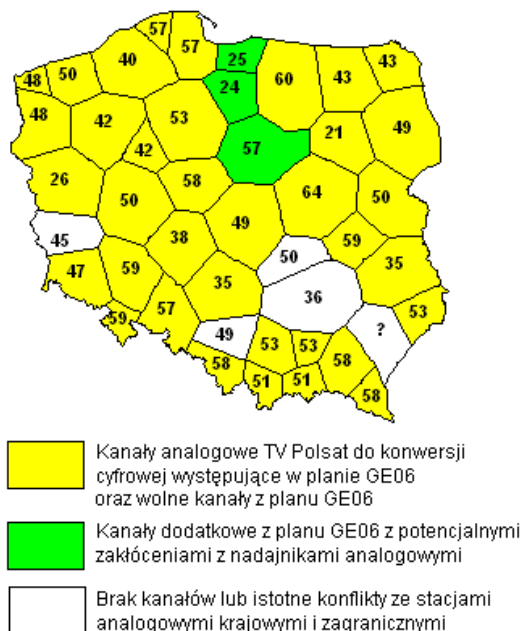
Prowadzone w Instytucie Łączności prace dotyczące technicznych sposobów wyłączenia transmisji analogowej, wskazują, że w przypadku realizacji tej koncepcji jedynym poprawnym rozwiązaniem technicznym zapewniającym możliwość budowy kolejnych multipleksów jest wyłączenie w pierwszej kolejności programu TVP2 a w następnej TVP3 lub Polsat.

Wyłączenie jednego programu TV odpowiada włączenie jednego nowego multipleksu cyfrowego tak jak to pokazano na Rys. 7 gdzie widać konwersję kanałów TVP2, całkowicie zgodnych z Planem GE'06.



Rys. 7. Przykład multipleksu 2 na bazie konwersji TVP2

Nie jest możliwe uzyskanie pokrycia ogólnopolskiego tylko na bazie kanałów zwolnionych przez TVP3 lub Polsat (Rys. 9) czy TVP1 ze względu na występujące braki kanałowe i ich częściową niezgodność z Planem GE'06. Po konwersji TVP2 i uruchomieniu w jego miejsce Multipleksu 2 można rozważać dalsze wyłączenia w kolejności: TVP3, Polsat lub na odwrót ze względu na powstające wolne miejsca po kanałach zwalnianych przez TVP2. Wówczas każdemu wyłączanemu programowi analogowemu odpowiadałby kolejny włączany multipleks cyfrowy.



Rys. 8. Wynik analiz konwersji sieci POLSAT

3. Wyłączanie wszystkich programów TV na danym obszarze (wyspie) po kolei dla wszystkich wysp.

Możliwe jest do realizacji w 3 wariantach:
3.1. Sukcesywne uruchamianie drugiego i kolejnych multipleksów ogólnopolskich (np. na starcie drugi multipleks z ok. 50% pokryciem terytorium kraju i sukcesyw-

ny wzrost) na bazie kanałów uzyskiwanych ze zwalnianych w kolejnych wyspach emisjach analogowych.

3.2. Uruchomienie tylko 1 multipleksu ogólnopolskiego i wyłączanie kolejnych wysp przy jednoczesnym uruchamianiu kilku nowych multipleksów na danej wyłączanej wyspie.

3.3. Koncepcja jednoczesnego uruchamiania na wyspie (a nie na całym terytorium kraju) 2 multipleksów a w kolejnych etapach wyłączeń rozszerzanie pokrycia obu multipleksów do osiągnięcia całego terytorium kraju.

Koncepcja wyspowego wyłączania i włączania była z powodzeniem przeprowadzona w Niemczech. Wymaga ona jednak zgody nadawców na uzyskanie na wstępie niepełnego pokrycia kraju oraz skoordynowania procesu wyłączania i włączania kolejnych wysp. Konieczne jest również tymczasowe „pożyczanie” kanałów z sąsiednich wysp celem przeprowadzenia procesu wyłączeń, oznaczające późniejsze „przestrajanie” nadajników.

5. KOMPATYBILNOŚĆ SIECI DVB-T Z INNYMI SŁUŻBAMI RADIOWYMI

W celu prawidłowego wdrożenia naziemnej sieci DVB-T konieczne było wykonanie szeregu analiz kompatybilności z różnego rodzaju systemami występującymi w Polsce i w krajach sąsiednich [9,13,15,16]. Wyniki tych prac w większości wykorzystywane były do ustalenia prawidłowego Planu GE'06. Niektóre z nich wykorzystano także do osiągnięcia odpowiedniego porozumienia z sąsiadami, które pozwala na ocenę parametrów stacji pod kątem uzyskania wzajemnej kompatybilności. Mogą one w niektórych wypadkach powodować np. ograniczenia maksymalnej mocy promieniowania stacji DVB-T na danym obszarze. Inne sieci mogą też mieć wpływ na zmniejszanie zasięgu stacji DVB-T, co powinno być brane pod uwagę w analizach zasięgu. Aktualnym problemem jest opracowanie warunków kompatybilności sieci nadajników dużej mocy z siecią nadajników małej mocy odpowiadające z reguły sytuacji sieci DVB-T i DVB-H. Możliwa jest także sytuacja dwóch sieci DVB-T, z których jedna zbudowana jest w oparciu o nadajniki dużej mocy a druga bazuje na nadajnikach małej mocy. Należy wówczas zastosować odpowiednie metody projektowania obu sieci tak by zapewnić wzajemną kompatybilność obu struktur, choć idealnym i najprostszym rozwiązaniem problemu kompatybilności jest w takim przypadku budowa obu sieci (DVB-T i DVB-H) na tych samych obiektach. Nie zawsze jest to jednak możliwe ze względów finansowych i wskutek osiągniętych niedostatecznych zasięgów, jak również mogą przeważać inne względy związane np. z posiadaniem danych obiektów przez jednego czy drugiego operatora.

W przyszłości pojawią się też problemy kompatybilności związane ze współużytkowaniem widma z kolejnymi systemami w paśmie UHF (np. DVB-RCT[6], IEEE 802.22) jednak większość z nich będzie rozwiązana na zasadzie systemowej [7] (techniki cognitive radio) i będzie miała ograniczony terytorialnie wpływ (najbliższe odbiorniki telewizyjne). Dalsze prace w tej dziedzinie będą musiały być jednak prowadzone.

6. PODSUMOWANIE

Cyfryzacja naziemnej telewizji w Polsce zbliża się wielkimi krokami, niewątpliwie najbliższe lata będą w tym względzie rewolucyjne. Nawet jeśli pojawiają się tu i tam głosy kwestionujące potrzebę TV naziemnej to jednak żaden kraj nie zdecydował się na rezygnację z tego typu transmisji, nawet jeśli nasycenie odbiorem za pomocą np. kabla osiągało w nim tak wysokie poziomy, jak np. ok. 90% w Holandii. Również w przypadku ogłaszania konkursów na częstotliwości naziemne zawsze do takich konkursów zgłasza się więcej chętnych niż jest dostępnych częstotliwości. Świadczy to o tym, że TV naziemna jest atrakcyjnym środkiem dla nadawców, takim będzie tym bardziej w Polsce gdzie ponad 50% gospodarstw korzysta z TV naziemnej. Sieci kablowe mają ograniczony zasięg a ich budowa na terenach nieurbanizowanych jest często nieopłacalna. Ponadto najczęściej TV naziemna jest bezpłatna (FTA), co w przypadku wzrastającej liczby kanałów naziemnych będzie stanowić ogromną konkurencję dla sieci kablowych, co już widać np. na przykładzie Niemiec, gdzie wdrożenie DVB-T spowodowało spadek liczby abonentów sieci kablowych. W przypadku sieci satelitarnych problemem są prawa autorskie, które wymuszają kodowanie transmisji oraz koszty takiego przekazu, które powodują konieczność wprowadzania opłat dla abonentów. Niebagatelne znaczenie ma też kontrola emisji naziemnej przez Administrację kraju (w sytuacjach zagrożenia), w tym także bezpośredni dostęp do infrastruktury, co nie jest możliwe w przypadku transmisji satelitarnej. Dostęp do telewizji przez Internet (ITV) będzie jeszcze przez wiele lat w Polsce bardzo ograniczony, zwłaszcza na terenach wiejskich, gdzie nie ma infrastruktury a wiele osób nie ma i nie planuje nawet zakupu komputera. Biorąc to wszystko pod uwagę należy przypuszczać, że w Polsce będzie wielu zainteresowanych dostępnymi multipleksami cyfrowymi a być może zajdzie konieczność poszukiwania dodatkowych częstotliwości, zwłaszcza w przypadku chęci emisji naziemnej HDTV. Spowoduje to na pewno rewolucyjne zmiany na rynku telewizyjnym w Polsce podobne do pojawienia się konkurencji w telefonii. Do grona nadawców dojdą kolejni, którzy będą musieli walczyć atrakcyjną ofertą programową, co na pewno pozytywnie wpłynie na rynek, tak jak pozytywnie wpłynęła konkurencja w telekomunikacji. Podobnie jak w telekomunikacji podmioty zasiedziały będą też zapewne broniły dostępu do tego rynku i konieczna będzie aktywna postawa regulatora.

W niniejszym referacie skupiono się na zasadniczych pracach z zakresu techniki, w których autor uczestniczył od początku, który miał miejsce w Polsce ponad 10 lat temu wraz z przygotowaniem Polski do Konferencji w Chester [12]. Na przestrzeni lat rozwijane były plany sieci, których pierwsza wersja została opracowana w Instytucie Łączności już w 1998 roku. Główny ciężar ostatecznego ustalenia planu kanałów spoczywał w ostatnich latach na Administracji, która podejmowała wysiłki w celu skoordynowania niezbędnych kanałów ze wszystkimi sąsiadami Polski i organizowała prace przygotowawcze do Konferencji RRC. Wysiłki zaangażowa-

nych instytucji zakończyły się sukcesem w postaci uzgodnienia i podpisania Planu GE'06 dla Polski oraz przygotowania do wdrożenia pierwszego ogólnopolskiego multipleksu przez uzgodnienie kanałów częstotliwości. Dostępne częstotliwości stanowią pierwszy etap szerokiej implementacji sieci DVB-T. W kolejnym nastąpi zapewne wyłonienie operatora multipleksu, który będzie odpowiedzialny za budowę i wdrożenie sieci cyfrowej. Operator w trakcie opracowywania planów sieci napotka na problemy implementacji i optymalizacji sieci, które wskazano w referacie. Mimo prac, które zostały jeszcze do zrobienia, w tym opracowanie szczegółowe planów sieci, wydaje się, że Polska jest dobrze przygotowana do wdrożenia DVB-T. Jest Plan GE06, są metody planowania, optymalizacji, przygotowane są narzędzia informatyczne, uzgodnione zostały kanały częstotliwościowe. Pozostały do rozwiązania kwestie pozatechniczne: prawno-regulacyjne, polityczne, społeczne, ale to nie było przedmiotem niniejszego referatu.

Tak jak już stwierdzono w roku 2015 (a być może nawet w 2013) w Polsce nie będzie TV analogowej. Dostępny będzie co najmniej jeden cyfrowy multipleks naziemny. Oferta programowa będzie stawała się ciekawsza w miarę uruchamiania kolejnych multipleksów, pojawią się też usługi dodatkowe. Należy podkreślić, że telewizja cyfrowa stanowi jeden z elementów dostępu do cyfrowych usług zapobiegających wykluczeniu cyfrowemu. Zapewne także w roku 2015 będzie wiele miejsc w Polsce gdzie nie będzie docierał Internet, będzie natomiast dostęp do cyfrowych usług TV naziemnej.

W przyszłości nastąpi dalszy rozwój technik przekazu naziemnego w telewizji, wraz z opracowaniem kolejnych wersji standardu DVB-T2 zwiększana będzie dostępna przepływność cyfrowa. Zwiększy się liczba odbiorników HDTV. Spowoduje to powszechne stosowanie technik HDTV także w transmisji naziemnej.

Równolegle będzie rozwijał się rynek telewizji mobilnej, być może tak jak chce Komisja Europejska w jednym standardzie, DVB-H. Multipleksy DVB-H będą mogły korzystać tak jak DVB-T z Planu GE'06. Pozostaną do rozwiązania kwestie kompatybilności z sieciami DVB-T zasygnalizowane w referacie, ale te problemy będzie można minimalizować na etapie projektu sieci.

W przyszłości w pasmach telewizyjnych mogą pojawić się kolejne służby, takie jak np. naziemny kanał zwrrotny w telewizji DVB-RCT [6] czy będący w trakcie opracowywania standard sieci rozległych IEEE 802.22, jednak te służby będą pracować na zasadzie drugiej ważności przyjmując jako zasadę przeszukiwanie pasma i emisję w takich kanałach, by wyeliminować wszelkie możliwości zakłóceń. Nie będą więc one miały większego wpływu na działające sieci telewizji naziemnej a przyczynią się do jeszcze efektywniejszego wykorzystania pasma UHF.

LITERATURA

[1] ETSI EN 300 744; *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*, 2004

[2] ETSI EN 302 304 *Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Termi-*

nals (DVB-H) ETSI, 2004

[3] ITU-R, *Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06)*, Genewa, June, 2006

[4] ITU-R, Recommendation BT.1368-6 *Planning Criteria for Digital Television Services in the VHF/UHF Bands*, Geneva, 2006

[5] ITU-R Recommendation P.1546-2, *Method for Point-to-Area Predictions for Terrestrial Services in the Frequency Range 30 MHz to 3 000 MHz*, Geneva 2005

[6] Łotoczko O., Więcek D., Więcek R.: *System naziemnego kanału zwrrotnego interaktywnej telewizji cyfrowej DVB-RCT* Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, KKRRiT 2003, Wrocław, 25-27 czerwca 2003

[7] Łotoczko O., Więcek D.: *Kompatybilność systemu DVB-RCT z DVB-T* Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, KKRRiT 2003, Wrocław, 25-27 czerwca 2003

[8] Łotoczko O., Więcek D.: *Problemy implementacji stacji DVB-T na potrzeby planu RRC'06* Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, KKRRiT 2005, 15-17 czerwca 2005

[9] M. Kałuski, M. Macher, D. Więcek, *Kompatybilność między systemami nawigacyjnymi RSBN/PRMG i systemem naziemnej telewizji cyfrowej*, KKRR'2000, Poznań 2000

[10] 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

[11] Sobolewski J., Więcek D.: *Planowanie sieci jednoczęstotliwościowej DVB-T*, KKRRiT 2005, Kraków

[12] *The Chester 1997 Multilateral Coordination Agreement relating to Technical Criteria, Coordination Principles and Procedures for the introduction of Terrestrial Digital Video Broadcasting (DVB-T)*, Chester, July 1997

[13] Więckowski T.W., Więcek D.: *Analiza kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i systemu CDMA w kanałach 65 i 67* telewizji Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, KKRRiT 2004, Warszawa, 16-18 czerwca 2004

[14] Więcek D. *Modulacja OFDM*, KKRR'98, Poznań, 1998.

[15] Więcek D: *Współużytkowanie widma przez naziemną telewizję cyfrową DVB-T i radioastronomię* Krajowa Konferencja Radiodifuzji i Radiokomunikacji KKRR'99, Poznań, maj 1999

[16] Więcek D., Łotoczko O., R. Więcek, *Kompatybilność naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T*, KKRR'2001, Gdańsk 2001

[17] Więcek D.: *Wybrane aspekty techniczne planowania sieci DVB-T*, KKRRiT 2003, Wrocław, 2003

[18] Więcek D.: *Ograniczenia planowania i projektowania rozległych sieci jednoczęstotliwościowych SFN*

telewizji DVB-T, KKRRiT'2006, Poznań, 2006