



**INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI**  
**PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

**Centralne Laboratorium Badawcze(CLB)**

**Badania porównawcze standardów telewizji  
cyfrowej**

**Praca nr 09300018**

Warszawa, grudzień 2008

Badania porównawcze standardów telewizji cyfrowej

Praca nr 09300018

Słowa kluczowe: telewizja cyfrowa, AVC/H264, MPEG2 TS, badania subiektywne, SSCQE.

Kierownik pracy: dr inż. Alina Karwowska-Lamparska

Wykonawcy pracy: mgr inż. Adam Borowski,  
mgr inż. Andrzej Chudziński,  
dr inż. Alina Karwowska-Lamparska  
mgr inż. Zbigniew Kądzielski,  
mgr inż. Justyn Połujan,  
inż. Paweł Szulim.

Kierownik Zakładu: mgr inż. Adam Borowski

## Spis treści

1.	Wstęp.....	4
2.	Wprowadzenie – stan obecny naziemnej telewizji cyfrowej w Polsce.....	4
3.	Analiza porównawcza algorytmów kompresji sygnałów z punktu widzenia wymaganej prędkości bitowej i jakości odtwarzanego obrazu.....	7
3.1.	Algorytmy kodowania sygnałów wizyjnych.....	7
3.2.	Wymagana prędkość bitowa .....	8
3.3.	Budowa strumienia transportowego.....	9
3.4.	Kodowanie dźwięku towarzyszącego .....	9
4.	Subiektywne badanie jakości emitowanych obrazów .....	9
4.1.	Omówienie ogólne .....	9
4.2.	Metodyka pomiarowa.....	11
4.3.	Warunki obserwacji.....	12
4.4.	Procedury pomiarowe .....	15
4.5.	Specyfika pomiarów sygnałów HDTV .....	18
4.6.	Analiza wyników.....	19
4.7.	Omówienie uzyskanych wyników pomiarów .....	19
5.	Wymagania techniczne na urządzenia do odbioru naziemnych cyfrowych transmisji telewizyjnych .....	21
6.	Wnioski .....	22
	Bibliografia.....	24

## 1. Wstęp

Celem pracy jest stworzenie podstaw technicznych do ostatecznego wyboru standardu emisji cyfrowej telewizji naziemnej w Polsce, zapewniającego największą jakość usług (QoS) i odtwarzanego obrazu (QoP) dla telewizji SDTV i HDTV. Na obecnym etapie cyfryzacji wiele zagadnień jest jeszcze dyskusyjnych i wymaga uściślenia, co zostanie omówione szczegółowo w następnych rozdziałach pracy. W pracy przedstawiono:

- stan obecny naziemnej telewizji cyfrowej w Polsce,
- przeprowadzono analizę porównawczą różnych algorytmów kompresji sygnałów z punktu widzenia wymaganej prędkości bitowej i jakości odtwarzanego obrazu i zaproponowano optymalne algorytmy kompresji,
- przeprowadzono statystyczne badania subiektywne jakości emitowanych obrazów SDTV i HDTV obejmujące:
  1. opracowanie metod pomiarowych w oparciu o Zalecenia ITU-R i ITU-T;
  2. opracowanie procedur pomiarowych;
  3. przeprowadzenie (przy pomocy obserwatorów) badań:
    - bezpośrednią ocenę jakości obrazów HDTV i SDTV emitowanego przez warszawski nadajnik naziemnej telewizji cyfrowej;
    - oraz dodatkowo, porównanie jakości obrazu emitowanego metoda cyfrową kodowanego wg .AVC/H264, z jakością obrazu analogowego na odbiornikach różnego typu;
  4. obróbkę statystyczną wyników pomiarów.

Dodatkowo współpracowano przy opracowywaniu wymagań technicznych na urządzenia do odbioru cyfrowych naziemnych transmisji telewizyjnych.

Wyniki częściowe badań stanowiły podstawę opinii IŁ przedstawianych w ramach dyskusji nad wprowadzeniem telewizji cyfrowej w Polsce.

## 2. Wprowadzenie – stan obecny naziemnej telewizji cyfrowej w Polsce

Priorytetowym tematem podejmowanym przez Unię Europejską jest stworzenie społeczeństwa informacyjnego, a głównym elementem podejmowanych w tym celu prac jest stopniowe wykorzystywanie zalet technologii cyfrowej. Komisja Europejska jest żywo zainteresowana rozwojem telewizji cyfrowej i przyszłością całego sektora nadawania cyfrowego.

Docelowym etapem wprowadzenia techniki cyfrowej do telewizji jest pełna cyfryzacja całego toru telewizyjnego począwszy od źródła sygnału aż do odbiornika telewizyjnego u abonenta, obejmująca wszystkie procesy zachodzące w tym torze. Ośrodki studyjne są już od bardzo wielu lat w pełni cyfrowe. Cyfryzacją systemów emisyjnych (satelitarne, naziemne i kablowe) dla Europy zajęto się w ramach projektu DVB (Digital Video Broadcasting), którego celem było wprowadzenie i rozwój powszechnej telewizji cyfrowej. Cyfrowe systemy kablowe i satelitarne są wprowadzone powszechnie i w wielu przypadkach te ostatnie konkurują skutecznie z telewizją naziemną. Telewizja internetowa jest z założenia telewizją cyfrową. Zasadnicze problemy wystąpiły w przypadku wprowadzania telewizji cyfrowej naziemnej. Wynikają one przede wszystkim z konieczności występowania niezbędnego okresu współlistnienia emisji analogowych i cyfrowych tzw. „simulcastu”, w którym dostępność widma dla naziemnej telewizji cyfrowej jest ograniczona. Niezbędnym stało się

więc zastosowanie najbardziej efektywnych dostępnych technik kompresji sygnału wizyjnego i fonicznego już od momentu startu cyfrowych emisji naziemnych. Pociągnęło to za sobą konieczność wykonywania wielu badań i analiz dotyczących możliwości różnych algorytmów kodowania. Analiza taka była przeprowadzana również w Instytucie Łączności [1].

Oprócz problemów technicznych przy wprowadzaniu naziemnej telewizji cyfrowej występują również problemy marketingowe. W wielu krajach obok nadawcy publicznego o określonej pozycji, są nadawcy komercyjni, których celem jest uzyskanie dochodu z cyfryzacji, a przynajmniej w pierwszym okresie braku strat. Aby sprawy te pogodzić we wszystkich państwach europejskich opracowano rządowe strategie cyfryzacji, nowelizowano ustawy telekomunikacyjne i medialne a w niektórych przypadkach przyjmowano nowe ustawy. W wyniku tych działań w Europie naziemna telewizja cyfrowa działa już od lat. Pierwsza w Europie nadawanie analogowe wyłączyła Holandia (grudzień 2006), a następnie Szwecja (październik 2007). Cyfryzację naziemnej telewizji cyfrowej wprowadzono już w Szwajcarii. Proces przejścia z nadawania analogowego na cyfrowe rozpoczęto już w Wielkiej Brytanii, Francji i Czechach, a przygotowują się Rosja, Ukraina i Słowacja.

W Polsce natomiast dotychczas nie podjęto żadnych decyzji. Mimo, że stworzenie planu cyfryzacji telewizji naziemnej to zadanie dla rządu, sejm i rząd nie zajmują się tymi problemami w ogóle. Wielomiesięczne dyskusje pomiędzy UKE, Krajową Radą Radiofonii i Telewizji i nadawcami nie przyniosły żadnych rezultatów. Według ostatniej (aktualnej w dniu pisania tego sprawozdania) wersji cyfryzacja ma być realizowana zgodnie z koncepcją KRRiT, zapisaną w ustawie o radiofonii i telewizji. Nadal jednak nie wiadomo kiedy wystartuje pierwszy multipleks, jaka będzie jego zawartość i kto będzie jego operatorem. Nie wiemy też tego o multipleksie drugim. Przeprowadzane są jedynie eksperymentalne emisje z umieszczonych na Pałacu Kultury nadajników TP EMITEL (TVP1, TVP2, TVP Info, TVP Sport, TVP HD) i POT (TVN, Polsat, TV4, HD). Przewidywany termin wyłączenia w Polsce naziemnej telewizji analogowej jest również nieznan. Komisja Europejska w grudniu 2005 zaleciła (ale tylko zaleciła) wyłączenie naziemnej telewizji analogowej w roku 2012. Wiąże się to z możliwością zagospodarowania tzw. dywidendy cyfrowej tj. tej części widma, która zwolni się po wyłączeniu nadawania analogowego. W roku 2014 wygasają koncesje analogowe nadawców komercyjnych. Dopiero w roku 2015 (17 czerwca) zgodnie z zapisami aktów końcowych Konferencji Regionalnej w Genewie (2006) przestanie obowiązywać ochrona naszych stacji analogowych, co oznacza, że stacje analogowe jeśli pracują to mogą być zakłócane przez stacje cyfrowe naszych sąsiadów i ich obiór będzie niemożliwy.

Podstawowe składniki koncepcji wprowadzenia naziemnej telewizji cyfrowej w Polsce były dyskutowane w ramach UKE, KRRTV oraz gronach nadawców właściwie w ciągu całego 2008 roku. Jednym z głównych tematów dyskusji stanowiła liczba i zawartość multipleksów. Zgodnie z ustaleniami Regionalnej Konferencji Radiokomunikacyjnej RRC-06 Polska uzyskała osiem warstw (multipleksów) ogólnokrajowych DVB-T; docelowo możliwe jest więc utworzenie na terenie kraju 8 multipleksów, których zawartość będzie zależna od potrzeb i możliwości. Ustalono ponadto, że kanały te można wykorzystać dla innych systemów rozsiewczych spełniających wymagania kompatybilności systemowej nie gorzej niż wymagania ustalone dla standardu DVB-T. Daje to dużą elastyczność przy planowaniu wykorzystania tych kanałów. Na podstawie dyskusji w środowisku naukowym Instytutu, a także przemysła przedstawionych w artykule [2] na obecnym etapie przewiduje się, że multipleks odpowiadający dolnym zakresom telewizyjnym będzie przeznaczony na potrzeby radiofonii cyfrowej (multipleks metrowy) co wskazano na podstawie analizy dolnego zakresu widma.

- multipleks dla potrzeb służb radiokomunikacji komórkowej 3G, zgodnie z międzynarodowymi ustaleniami (WRC 07) będzie obejmował górny zakres widma (kanały 61-69).
- z pozostałych sześciu, jeden multipleks zostanie przeznaczony na emisję sygnałów DVB-H- jeśli służba ta znajdzie zainteresowanie w Polsce- w przeciwnym przypadku dla systemów mobilnych trzeciej i czwartej generacji (3G/4G).

Dla bezpośredniego nadawania telewizji cyfrowej DVB-T będą rezerwowane obszary widma odpowiadające pięciu multipleksom, z których dwa multipleksy muszą być uruchomione w pierwszej kolejności:

- pierwszy z nich posiadający 100% pokrycia może zostać przeznaczony dla telewizji komercyjnych, co przeciwdziałać będzie ewentualnym protestom ze strony tych nadawców po ogłoszeniu takiej decyzji. Wówczas powinien być ogłoszony konkurs na rezerwację częstotliwości, stosownie do wymogów prawa telekomunikacyjnego, przy czym ubiegającym się o rezerwację powinien być niezależny operator, a nie nadawca.
- drugi multipleks natomiast, o pokryciu mniejszym, może być przekazany telewizji publicznej w zamian za wyłączenie emisji analogowych, bez konkursu na rezerwację częstotliwości (w oparciu obowiązującą ustawę o radiofonii i telewizji z 1992 r. z późniejszymi zmianami) Multipleks ten nie gwarantuje pełnego pokrycia ponieważ na południu Polski występują tzw. "białe plamy". Przewiduje się, że TVP będzie mogła je łatwo zapłacić w drodze wyłączenia pewnych obszarów, gdzie nadawanie jest analogowe, a będzie wprowadzone cyfrowe.
- uzyskane wskutek wyłączenia transmisji analogowych kanały częstotliwości pozwolą na utworzenie dwóch następnych multipleksów, które mogą stanowić rezerwę np. po jednym kanale dla kilku operatorów.

Piąty multipleks powinien na obecnym etapie stanowić rezerwę.

Natomiast koncepcja preferowana przez UKE była odmienna i bardzo dyskusyjna. Spór pomiędzy UKE, a nadawcami i KRRiT trwał prawie okrągły rok. Ostatecznie uzgodniono, że w pierwszym multipleksie, o pełnym pokryciu zasięgiem całego kraju, KRRiT umieści trzy programy SD: TVP1, TVP2, TVPInfo, a na pozostałe cztery Rada ogłosi konkurs na 4 koncesje na telewizje ogólnokrajowe. Dotyczy to przede wszystkim Polsatu, TVN, TV4 i TVPuls. W drugim multipleksie, o pokryciu 80% kraju, przewiduje się przeprowadzenie przez KRRiT konkursu na trzy miejsca, a następnie przeprowadzenie przez UKE otwartego konkursu na operatora tego multipleksu, który następnie obsadzi kolejne cztery miejsca.

W połowie grudnia 2008 UKE poinformował, że przewiduje uruchomienie trzeciego multipleksu o pokryciu 47% terytorium kraju, ale nic więcej na ten temat nie wiadomo.

Liczba i rodzaj programów SD i HD przesyłanych w multipleksie zależy od prędkości bitowych przesyłanych sygnałów. Wybór standardu kodowania w naziemnej telewizji cyfrowej przestał być dyskusyjny. Wszystkie warianty koncepcji zakładają bowiem przyjęcie standardu AVC/H264, umożliwiającego przesłanie dwukrotnie większej liczby informacji w tym samym kanale transmisyjnym niż MPEG 2 ( patrz rozdział 3).

W czerwcu 2008 w ramach pracującej przy UKE Podgrupy Technicznej dla wprowadzenia naziemnej telewizji cyfrowej w Polsce przeprowadzono dyskusję dotyczącą zawartości multipleksów. Prawie wszyscy uczestnicy (w tym wszyscy nadawcy) uważali, że już w pierwszym multipleksie musi być przesyłany co najmniej jeden program HD ze względu na zwiększenie atrakcyjności dla widzów. Podobne zdanie miała też autorka sprawozdania (w oparciu o dane z rozdziału 3).

### **3. Analiza porównawcza algorytmów kompresji sygnałów z punktu widzenia wymaganej prędkości bitowej i jakości odtwarzanego obrazu**

Jak wynika z podanych powyżej rozważań pełna cyfryzacja telewizji naziemnej w Polsce jest nieunikniona. Pociąga to za sobą konieczność zapewnienia odbiorcom obrazu telewizyjnego wysokiej jakości. Jednocześnie tendencje światowe i rozwój przemysłu, a więc coraz powszechniejsza dostępność szerokoekranowych odbiorników telewizyjnych LCD pociąga za sobą powszechne nadawanie telewizji HDTV, której emisja jest wyłącznie cyfrowa. Powstała więc konieczność ustalenia podstawowych parametrów transmisyjnych systemu cyfrowego, zapewniających jak najwyższą jakość odtwarzanych obrazów przy optymalnym wykorzystaniu przydzielonego widma częstotliwości.

Podstawowy system transmisyjny do emisji naziemnej telewizji cyfrowej został określony przez normę ETSI EN 300 744, której ostatnia wersja została zatwierdzona w roku 2004, a obecnie diskutowany jest projekt z września 2008, który powinien z godnie z planem być przyjęty w styczniu 2009 (polskie tłumaczenie dotyczy wersji z r 2001[3]). W normie tej opisano funkcjonalny blok urządzeń wykonujących adaptacje sygnałów telewizyjnych w paśmie podstawowym przychodzących z wyjścia multipleksa transportowego do parametrów kanału naziemnego, obejmującą randomizację, kodowanie zewnętrzne i wewnętrzne, przeplatanie, modulację i multipleksowanie z ortogonalnym podziałem częstotliwości. Sygnałami wejściowymi na system są kodowane sygnały wizyjne kilku programów telewizyjnych z wyjścia multipleksa. Podstawowe parametry tych sygnałów mają znaczny wpływ na jakość odtwarzanych obrazów oraz liczbę i rodzaj sygnałów w multipleksie. Dlatego są one analizowane i badane w celu ustalenia ich optymalnych wartości. Należą do nich przede wszystkim algorytmy kodowania, wymagana prędkość bitowa sygnału oraz rodzaj strumienia transportowego.

#### **3.1. Algorytmy kodowania sygnałów wizyjnych**

W chwili obecnej przy transmisji sygnałów DVB-T są stosowane dwa standardy kodowania sygnału wizyjnego: MPEG2 i tzw. MPEG4 ( AVC/H264) Określają one metody kompresji i kodowania sygnału wizyjnego, fonii i danych dodatkowych. Obydwa standardy należą do metod nieodwracalnych tzn. takich, w których część informacji nieistotnych w odtwarzanym obrazie jest bezpowrotnie tracona w procesie kodowania. Metody kompresji stosowane w standardach wykorzystują: korelację przestrzenną (kodowanie transformacyjne), korelację czasową (prognozowanie z kompensacją ruchu), właściwości ludzkiego oka, właściwości statystyczne programu (kodowanie ze zmienną długością słowa) Opracowany w 1993 roku [4] standard MPEG 2 umożliwia zarówno transmisję obrazów wytwarzanych w standardzie europejskim 625 linii/50 Hz jak i amerykańskim 525 linii/60 Hz, dopuszczalne są w nim również różne formaty obrazu w tym 4:3 i 16:9, wybieranie może być międzyliniowe lub kolejno liniowe. Może on być wykorzystywany dla kodowania obrazów o różnej rozdzielczości przy zastosowaniu różnych wariantów kompresji sygnałów. Standard MPEG 2 był w okresie ostatnich 15-tu lat powszechnie stosowany w krajach, które rozpoczynały emisję naziemną sygnałów telewizyjnych i jest w nich nadal stosowany. W Polsce pierwsze emisje eksperymentalne naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T były prowadzone również w standardzie kodowania MPEG2.

Standard AVC/H264 jest naturalnym sukcesorem cieszącego się dużym powodzeniem standardu MPEG 2. Po ponad 10-cio letniej eksploatacji technologii MPEG 2 powstało zainteresowanie nowymi technologiami zapewniającymi większą wydajność kodowania niż technologie eksploatowane. Wynikło to zarówno z potrzeb producentów programów dążących do wytwarzania obrazów o coraz większej rozdzielczości z HDTV włącznie,

zapewniających większą wierność obrazów niż telewizja standardowa. . Jednocześnie nadawcy poszukiwali możliwości umieszczenia w dostępnym paśmie częstotliwości większej liczby kanałów. Powstała więc konieczność opracowania kodeków o większej skuteczności kompresji. W roku 2003 został opracowany standard AVC/H264. Standard ten wykorzystuje bardziej zaawansowane techniki kompresji oraz wiele dodatkowych narzędzi umożliwiających kodowanie i manipulowanie mediami cyfrowymi, jak adaptacyjny podział makrobloków do 4x4 próbek luminancji i specjalne tryby ich rekonstrukcji, kodowanie adaptacyjne sekwencji wizyjnych, zaawansowane prognozowanie wewnątrz i między obrazowe i wiele obrazowa kompensacja ruchu. Standard AVC/H264 znalazł szerokie zastosowanie zarówno w emisji sygnałów telewizyjnych w tym telewizji o dużej rozdzielczości obrazu (HDTV), lecz również w wielu dziedzinach transmisji, przetwarzania i przechowywania treści wizyjnych. Prowadzone obecnie w Polsce emisje eksperymentalne naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T są prowadzone wyłącznie w standardzie kodowania AVC/H264. Dzięki zastosowaniu bardziej zaawansowanych technik kompresji standard AVC/H264 zapewnia przy takiej samej ocenianej subiektywnie jakości obrazu uzyskanie dla jednego programu telewizyjnego prędkości bitowej o połowę mniejszej niż standard MPEG 2.(patrz rozdział 3.2.). Jest on obecnie powszechnie stosowany w szerokim zakresie usług telewizyjnych od urządzeń ruchomych o prędkościach bitowych poniżej 30 kb/s, poprzez telewizję internetową, telewizję o standardowej rozdzielczości (SDTV) do telewizji dużej rozdzielczości obrazu (HDTV).

### 3.2. Wymagana prędkość bitowa

Zapewnienie emisji telewizyjnych sygnałów cyfrowych o określonej dla danej służby jakości i rozdzielczości wymaga przesłania odpowiedniej liczby bitów, a więc odpowiedniej prędkości bitowej. Prędkość ta zależy od przyjętego algorytmu kodowania. Prędkość bitowa dla transmisji sygnałów wizyjnych SDTV została określona przede wszystkim na podstawie analiz i badań zależności jakości obrazu od prędkości bitowej sygnału. Przeprowadzone w Instytucie Łączności w roku 1993 badania eksperymentalne wykazały, że prędkość bitowa sygnałów SDTV kodowanych wg. standardu MPEG 2 przy jakości odtwarzania obrazu równorzędnej jakości obrazu analogowego wynosi około 3,5 Mb/s, przy czym zależy ona w dużym stopniu od treści przesyłanego obrazu i dla obrazów o treści krytycznej (dużej zawartości ruchu) wzrasta do 4,5 Mb/s. W roku 1993 przeprowadzono w laboratoriach w Niemczech, Włoszech, Japonii i USA [5] eksperymentalne subiektywne badania porównawcze jakości odtwarzanych obrazów kodowanych według standardów MPEG 2 I AVC/H264. Sygnałami wejściowymi były znormalizowane sekwencje pomiarowe zawierające obrazy o różnej krytyczności i różnej zawartości ruchu. Pomiar wykazały znaczną przewagę standardu AVC/H264 nad standardem MPEG 2 dla wszystkich ustawień pomiarowych. Dla sekwencji kodowanych według standardu AVC/H264 zauważono znacznie mniejsze zniekształcenia kolorów ( w szczególności nasyconych), mniejsze zniekształcenia o charakterze szumu oraz brak efektów kodowania bloków niż dla sekwencji kodowanych według standardu MPEG 2. W przypadku kodowania AVC/H264 obrazów SD o małej zawartości ruchu („mobile” i „tempete”) taką samą jakość odtwarzanego obrazu jak dla kodowania MPEG 2 uzyskano się przy prędkości bitowej o połowie mniejszej. Dla tych dwóch obrazów bardzo dobrą jakość obrazów SD zapewnia przesłanie już 1,5 Mb/s, podczas gdy dla przesłania obrazu „mobile” o takiej samej jakości kodowanego wg. standardu MPEG 2 niezbędne jest przesłanie strumienia 6Mb/s. Natomiast dla obrazów zawierających dużo ruchu i dużo szczegółów jak „Husky” i „Football” akceptowana jakość obrazów kodowanych AVC/H264 uzyskuje się 2.25 Mb/s, co jest zupełnie nieosiągalne w przypadku kodowania MPEG 2. W przypadku sygnałów HD („Crew” i „Riverbed”) kodowanych według standardu AVC/H264 prędkość ta wynosiła 6 Mb/s. Odpowiednia prędkość bitowa sygnałów w



przypadku kodowania MPEG 2 wynosiła 10 Mb/s. Przeprowadzona w Instytucie Łączności w 2005 [1] teoretyczna analiza porównawcza powyższych standardów kodowania potwierdziła tę opinię. Określenie wymaganych prędkości bitowych dla poszczególnych programów umożliwia określenie budowy poszczególnych multipleksów. Przy rozważaniu zawartości multipleksu należy przy tym uwzględnić, że oprócz programów wizyjnych należy w multipleksie przesłać sygnały fonii towarzyszącej i danych: na przykład fonii towarzyszącej AC 3 o prędkości 448kb/s, teletekstu o prędkości średnio 200 kb/s, sygnały EPG około 500 kb/s oraz inne usługi dodane o prędkości do 1 Mb/s.

### 3.3. Budowa strumienia transportowego

Transmisja zakodowanych sygnałów wizji, fonii i danych następuje za pomocą strumienia transportowego. Obecnie w telewizji cyfrowej naziemnej, kablowej i satelitarnej (z wyjątkiem standardu satelitarnego DVB-S2) jest stosowany powszechnie, niezależnie od standardu kodowania, strumień transportowy MPEG 2-TS. Strumień ten zawiera połączone i zmultipleksowane elementarne strumienie transportowe poszczególnych programów z dźwiękiem towarzyszącym oraz danymi. Budowa strumienia jest ściśle określona, a jego wielkość ograniczona jedynie możliwościami medium transmisyjnego (szerokość pasma częstotliwości, prędkość bitowa).

Inną filozofię transmisji programów telewizyjnych „na żywo” lub „na żądanie” wykorzystuje telewizja internetowa, bazująca na transmisji strumieniowej z wykorzystaniem protokołu IP czyli przesyłaniu pakietów utworzonych na bazie strumienia transportowego.

### 3.4. Kodowanie dźwięku towarzyszącego

Standard kodowania dźwięku towarzyszącego obrazowi nie budzi większych kontrowersji w środowisku technicznym. Grupa DVB dotychczas nie określiła jaki standard kodowania dźwięku przewiduje w następnej generacji nadawania. Spośród możliwych standardów kodowania dźwięku, a mianowicie MP2 multi (MPEG2 layer 2 multicannel), AC 3 (Dolby Digital), E-AC-3 (Dolby Digital Plus) MPEG4 AAC Level 4, MPEG 4 HE AAC Level 4 powszechnie jest stosowany, oraz przewidywany do zastosowania w przyszłości standard E-AC-3 (Dolby Digital Plus).

## 4. Subiektywne badanie jakości emitowanych obrazów

### 4.1. Omówienie ogólne

Podstawowym celem jaki należy osiągnąć jest zadowolenie widza z oglądanego programu. Ponieważ treść programu jest od spraw technicznych niezależna badania dotyczą jakości obrazu, która jest funkcją nie tylko parametrów technicznych toru przesyłowego lecz również własności zmysłów słuchu i wzroku takich jak np. czułość wzroku, jego własności widmowe, bezwładność zmysłu wzroku i jego zdolność rozdzielcza.

W technice telewizyjnej są stosowane dwa rodzaje metod pomiarowych: pomiary obiektywne i pomiary subiektywne. Metody obiektywne polegają na pomiarze poszczególnych parametrów odtwarzanego obrazu przez pomiar sygnału wizyjnego za pomocą przyrządów pomiarowych. Uzyskane wyniki są ściśle związane z przeprowadzanymi w torze procesami oraz występującymi zakłóceniami zniekształceniami przesyłanych sygnałów. Ich dokładność zależy przede wszystkim od dokładności stosowanych przyrządów pomiarowych. Jednakże wyniki badań obiektywnych nie dają pełnej informacji o wrażeniu jakie odnosi widz oglądający odtwarzany obraz.

Szczególnie w telewizji cyfrowej brak jest dokładnych korelacji pomiędzy wartością zniekształcenia a wrażeniem wzrokowym odnoszonym przez widza przy obserwacji zniekształconego obrazu. Oprócz tego istnieją specyficzne zjawiska wzrokowe których nie można stwierdzić za pomocą pomiaru sygnałów. Należą do nich:

- zjawisko kontrastu granicznego (pozorne podkreślanie granic przylegających do siebie powierzchni o różnej luminancji),
- zjawisko kontrastu świetlnego (pozorna zmiana luminancji fragmentu obrazu w zależności od tła),
- zjawisko irradacji świetlnej (pozorne przesunięcie granicy pomiędzy dwoma powierzchniami),
- zjawisko kontrastu „jednoczesnego” (zmiana wrażenia wzrokowego w zależności od bodźców wywołanych sąsiednimi kolorami),
- zjawisko kontrastu „kolejnego” (zmiana wrażenia wzrokowego wywołanego danym kolorem, spowodowana podrażnieniem nerwu wzrokowego przez poprzednio oglądany kolor),
- zjawisko szumu (szumy o stałej wartości dają różne wrażenia w zależności od tła i treści obrazu).

Dlatego do oceny działania systemów telewizyjnych, a w szczególności systemów telewizji cyfrowej, w sposób ściśle związany z przewidywaną reakcją widzów, obserwujących przesyłane obrazy, stosowane są metody subiektywne.

Metody subiektywne polegają na obserwacji odtwarzanych obrazów na ekranach odbiorników kontrolnych oraz ich ocenie przez grupę obserwatorów i traktowaniu wyników w sposób statystyczny. Wyniki uzyskane przy pomiarach subiektywnych są niezależne od procesów i rodzajów zakłóceń oraz zniekształceń jakim podlegają badane sygnały.

Metodyka przeprowadzania badań subiektywnych znajduje się w Programie Prac organizacji międzynarodowej ITU-R, a szczególności Grupy Studiów SG 6 („Broadcasting

Service”), W ramach tej Grupy opracowano wiele Zaleceń dotyczących badań subiektywnej jakości obrazu. Ogólne informacje dotyczące badań subiektywnej jakości obrazu podano w Zaleceniu ITU-R BT 500-11[6], natomiast szczegóły dotyczące zastosowania tych metod dla różnych rodzajów sygnałów podają odpowiednie Zalecenia ITU-R. Badania subiektywne systemów telewizji cyfrowej standardowej jakości (SDTV) powinny być zgodne z Zaleceniem ITU-R BT 1129-2[7], natomiast telewizji o dużej rozdzielczości obrazu HDTV z Zaleceniem BT 710-4[8]. Analogiczna metodyka badań subiektywnych dla sygnałów multimedialnych została opracowana w ramach Grupy Studiów SG 9 („Integrated broadband cable networks and television and sound transmission”) odpowiednio w Zaleceniach P 910 rev1[9] i P 911[10].

Metody oceny subiektywnej polegają na ocenie jakości obrazu i dostrzegalności zniekształceń przez odpowiednią liczbę obserwatorów i traktowaniu tych pomiarów w sposób statystyczny. Służą one przede wszystkim do zebrania informacji na temat reakcji widzów na poszczególne rodzaje i wielkości zniekształceń i zakłóceń i są stosowane do określenia dopuszczalnych parametrów systemu i urządzeń szczególnie przy ich normalizacji. Uzyskanie porównywalnych wyników badań w skali międzynarodowej wymaga jednoznacznego ustalenia wszystkich warunków przeprowadzania badań oraz interpretacji ich wyników

## 4.2. Metodyka pomiarowa

Zgodnie z określoną w Zaleceniu ITU-R BT 500-11[6] metodyką, metody oceny subiektywnej dzielimy na dwie podstawowe grupy: dwubodźcowe (z odniesieniem) i jednobodźcowe (bez odniesienia).

W metodach dwubodźcowych są nadawane cyklicznie: obraz odniesienia oraz obraz zakłócany, pochodzący z tego samego źródła. Obserwatorzy oceniają obraz drugi mając w pamięci jakość obrazu pierwszego (odniesienia). Należą do nich przede wszystkim:

- dwubodźcowa metoda zauważalności zakłóceń (double stimulus impairment scale – DSIS)
- dwubodźcowa metoda ciągłej oceny jakości obrazu (double stimulus continuous quality scale – DSCQS)

Dwubodźcowa metoda zauważalności zakłóceń polega na ustaleniu minimalnej progowej wartości zakłócenia (lub zniekształcenia), przy której staje się ono zauważalne, bądź ustaleniu takiego poziomu zakłócenia, który powoduje zauważalne różnice w jakości obrazu w stosunku do jakości odniesienia.

Dwubodźcowa metoda bezpośredniej oceny jakości obrazu polega na ocenie jakości technicznej oglądanych przez obserwatorów obrazów (obrazu odniesienia i obrazu otrzymanego po przejściu przez badane urządzenie lub system) według ustalonych z góry specjalnych skali oceny jakości.

Metody jednobodźcowe polegają na ocenie jakości obrazu lub sekwencji obrazów przez obserwatorów, którzy wystawiają im jedną ocenę. Obecnie najczęściej stosowaną metodą oceny jakości jest

Jednobodźcowa metoda ciągłej oceny jakości obrazu (single stimulus continuous quality evaluation – SSCQE). Metoda ta została zaproponowana przede wszystkim dla subiektywnej oceny obrazu w telewizji cyfrowej, w której jakość obrazu zależy w dużym stopniu od jego treści, a zniekształcenia cyfrowe (zarówno dla układów kompresji sygnału jak i torów transmisyjnych) zależą od przestrzennej i czasowej zawartości źródła obrazu. Ocena obrazu za pomocą konwencjonalnych metod dwubodźcowych jest wówczas niewystarczająca, ponieważ czas obserwacji ograniczony do 10 s. nie wystarcza do wydania przez obserwatora reprezentatywnej oceny rzeczywistego obrazu. Metoda została uznana natomiast za bardzo pożyteczną w przypadku ciągłej oceny subiektywnej jakości obrazów kodowanych cyfrowo, bez odniesienia, przy zastosowaniu dłuższych sekwencji pomiarowych i obserwowaniu ich tylko raz. Obserwatorzy oceniają obserwowany obraz w sposób ciągły, zmieniając położenie suwaka w skali 0-100%. Z suwaków obserwatorów są pobierane w określonych momentach czasowych próbki i przesyłane do komputera pomiarowego w celu dalszej obróbki.

Do grupy metod jednobodźcowych należą również metody porównawcze, w których obserwowane są jednocześnie dwa obrazy o identycznej treści lecz różnych parametrach i obserwatorzy oceniają różnice pomiędzy nimi według siedmiostopniowej skali porównawczej.

Spotykanych metod przeprowadzania pomiarów subiektywnych jest wiele. Przed przystąpieniem do przeprowadzania pomiarów należy przede wszystkim wybrać metodę najbardziej odpowiednią dla danego przypadku, a następnie ustalić podstawowe warunki pomiarów do których należą warunki obserwacji, oceniany materiał, wybór i rodzaj obserwatorów, stosowaną skalę ocen i przebieg sesji pomiarowej.

W pracy przeprowadzono bezpośrednią ocenę jakości obrazu HDTV emitowanego przez warszawski nadajnik naziemnej telewizji cyfrowej ciągłą metodą jednobodźcową oraz porównanie jakości obrazu emitowanego metodą cyfrową kodowanego wg .AVC/H264 z jakością obrazu analogowego na odbiornikach różnego typu, przy zastosowaniu metody porównawczej.

#### 4.3. Warunki obserwacji

Ogólne warunki obserwacji podczas pomiarów subiektywnych w laboratorium zostały określone w Zaleceniu ITU-R BT 500-11:następująco:

1. Stosunek luminancji ekranu kineskopu nieczynnego do maksymalnej luminancji ekranu < 0,02
2. Stosunek luminancji ekranu do luminancji odpowiadającej maksymalnej bieli, gdy nadaje się tylko poziom czerni w pomieszczeniu całkowicie ciemnym: ok. 0,01<sup>\*)</sup>
3. Kontrast i jaskrawość odwzorowywanego obrazu: 30<sup>0</sup>
4. Maksymalny kąt obserwacji w stosunku do normalnej: ok.0,15
5. Stosunek luminancji tła za monitorem do maksymalnej luminancji obrazu: biel typu D 65
6. Temperatura barwy tła za monitorem obrazu: małe
7. Oświetlenie pomieszczenia z innych źródeł:

Warunki szczegółowe dotyczące SDTV według. Zalecenia BT 1129-2 są podane poniżej:

1. Odległość obserwatora od ekranu w zależności od wysokości obrazu: 4H i 6H <sup>\*\*)</sup>
2. Maksymalna luminancja obrazu: 70cd/m<sup>2</sup>
3. Kąt obserwacji odpowiadający części tła spełniającej powyższe wymagania: co najmniej 43<sup>0</sup> H x 57<sup>0</sup> W;
4. Monitor:ekran dużej jakości o przekątnej równej co najmniej 20'' (50cm).

Natomiast warunki szczegółowe dotyczące telewizji analogowej według. Zalecenia BT1128-2

1. Odległość obserwatora od ekranu w zależności od wysokości obrazu 4H i 6H<sup>\*\*)</sup>
2. Maksymalna luminancja obrazu 70cd/m<sup>2</sup>;
3. Kąt obserwacji odpowiadający części tła spełniającej powyższe wymagania co najmniej 43<sup>0</sup> x 57<sup>0</sup>W
4. Monitor: ekran dużej jakości o przekątnej równej co najmniej 22''(56cm).

<sup>\*)</sup> określa się za pomocą specjalnego sygnału pasów, zwanego PLUGE – zgodnie z Zaleceniami BT 814 i BT 815.

<sup>\*\*)</sup> preferowane 6H.

Proponowane warunki szczegółowe dotyczące HDTV wg. Zalecenia ITU-R BT 710-4 (w przypadku, gdy nie wszystkie są obecnie możliwe do spełnienia dozwolone jest przyjęcie innych warunków obserwacji podając w protokóle ich wartości)

1. Odległość obserwatora od ekranu w zależności od wysokości obrazu: 3 H
2. Maksymalna luminancja obrazu 150-250 cd/m<sup>2</sup>

- |  |  |
|--|--|
| 3. Stosunek luminancji ekranu kineskopu nieczynnego do maksymalnej luminancji ekranu:  | < 0,02;                                |
| 4. Stosunek luminancji ekranu do luminancji odpowiadającej maksymalnej bieli, gdy nadaje się tylko poziom czerni w pomieszczeniu całkowicie ciemnym: | ok. 0,01;                              |
| 5. Stosunek luminancji tła za monitorem do maksymalnej luminancji obrazu:  | ok.0.15;                               |
| 6. Oświetlenie pomieszczenia z innych źródeł:  | małe;                                  |
| 7. Temperatura barwy tła za monitorem obrazu:  | biel typu D 65;                        |
| 8. Kąt obserwacji odpowiadający części tła spełniającej powyższe wymagania dla wszystkich obserwatorów:  | 53 <sup>0</sup> H x 83 <sup>0</sup> W. |

Warunki szczegółowe dotyczące multimediiów według zalecenia ITU-T P910:

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1. Odległość obserwatora od ekranu w zależności od wysokości obrazu:   | 1-8 H <sup>***)</sup>      |
| 2. Maksymalna luminancja obrazu:   | 100-200 cd/m <sup>2*</sup> |
| 3. Stosunek luminancji ekranu kineskopu nieczynnego do maksymalnej luminancji ekranu:  | < 0,05                     |
| 4. Stosunek luminancji ekranu do luminancji odpowiadającej maksymalnej bieli, gdy nadaje się tylko poziom czerni w pomieszczeniu całkowicie ciemnym: | < 0,1                      |
| 5. Stosunek luminancji tła za monitorem do maksymalnej luminancji obrazu:  | < 0,2                      |
| 6. Temperatura barwy tła:  | D 65                       |
| 7. Oświetlenie pomieszczenia z innych źródeł:  | <20 luksów                 |

\*\*\*) Odległość obserwacji należy określić biorąc pod uwagę nie tylko wymiary ekranu, lecz także jego rodzaj, zastosowanie oraz cel eksperymentu.

Proponowane warunki obserwacji (opracowane na podstawie Zaleceń: BT500-11. BT1128-2 i BT1129-2) dla pomiarów porównawczych: emisja analogowa - emisja cyfrowa SDTV H264:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Stosunek luminancji ekranu kineskopu nieczynnego do maksymalnej luminancji ekranu:  | <0,02;                                 |
| 2. Stosunek luminancji ekranu do luminancji odpowiadającej maksymalnej bieli, gdy nadaje się tylko poziom czerni w pomieszczeniu całkowicie ciemnym: | ok.0,01;                               |
| 3. Maksymalna luminancja obrazu:   | 70cd/m <sup>2</sup> ;                  |
| 4. Maksymalny kąt obserwacji w stosunku do normalnej:  | 30 <sup>0</sup> ;                      |
| 5. Stosunek luminancji tła za monitorem do maksymalnej luminancji obrazu:  | ok.0,15;                               |
| 6. Temperatura barwy tła za monitorem obrazu:  | biel typu D 65;                        |
| 7. Oświetlenie pomieszczenia z innych źródeł:  | małe;                                  |
| 8. Odległość obserwatora od ekranu w zależności od wysokości obrazu:   | 6H lub 4H <sup>**)</sup>               |
| 9. Kąt obserwacji odpowiadający części tła spełniającej powyższe wymagania   | >43 <sup>0</sup> H x 57 <sup>0</sup> W |

\*\*) Preferowane 4H.

Biorąc pod uwagę, że:

1. Parametry ekranu odbiornika zostały ustawione w fabryce i można je zmieniać przez odpowiednie przełączanie pilota;
2. Brak jest odpowiednich przyrządów do pomiaru luminancji;
3. Pomiary luminancji nie są wykonywane w żadnym laboratorium polskim ani światowym (VQEG), jak również u producentów programów telewizyjnych. Luminancja jest mierzona jedynie u producentów odbiorników (na linii produkcyjnej),

będzie wystarczającym przyjęcie następujących parametrów:

1. Odległość obserwatora od ekranu w zależności od wysokości obrazu: 6H lub 4H\*\*)
2. Maksymalny kąt obserwacji w stosunku do normalnej: 30°;
3. Oświetlenie pomieszczenia z innych źródeł: małe

i ustawienie pozostałych parametrów na odbiornikach, przy czym bardzo ważnym jest aby obydwa odbiorniki miały jednakowe ustawienia parametrów.

\*\*) Preferowane 4H.

Proponowane warunki obserwacji dla pomiarów HDTV (opracowane na podstawie Zalecenia BT 710-4 w przypadku, gdy nie wszystkie są obecnie możliwe do spełnienia, jest dozwolone przyjęcie innych warunków obserwacji podając w protokole ich wartości)

1. Odległość obserwatora od ekranu w zależności od wysokości obrazu: 3 H;
2. Maksymalna luminancja obrazu: 150-250 cd/m<sup>2</sup>;
3. Stosunek luminancji ekranu kineskopu nieczynnego do maksymalnej luminancji ekranu: < 0,02;
4. Stosunek luminancji ekranu do luminancji odpowiadającej maksymalnej bieli, gdy nadaje się tylko poziom czerni w pomieszczeniu całkowicie ciemnym: ok. 0,01;
5. Stosunek luminancji tła za monitorem do maksymalnej luminancji obrazu: ok.0.15;
6. Oświetlenie pomieszczenia z innych źródeł: małe;
7. Temperatura barwy tła za monitorem obrazu: biel typu D 65;
8. Kąt obserwacji odpowiadający części tła spełniającej powyższe wymagania dla wszystkich obserwatorów 53°H x 83°W.

Biorąc pod uwagę, że

- Parametry ekranu odbiornika zostały ustawione w fabryce i można je zmieniać przez odpowiednie przełączanie pilota;
- Brak jest odpowiednich przyrządów do pomiaru luminancji;
- Pomiary luminancji nie są wykonywane zarówno w żadnym laboratorium polskim ani światowym (VQEG) jak również u producentów programów telewizyjnych. Luminancja jest mierzona jedynie u producentów odbiorników (na linii produkcyjnej),

wystarczającym będzie przyjęcie następujących parametrów:

1. Odległość obserwatora od ekranu w zależności od wysokości obrazu: 3H;
2. Maksymalny kąt obserwacji w stosunku do normalnej:  $30^0$ ;
3. Oświetlenie pomieszczenia z innych źródeł: małe.

#### 4.4. Procedury pomiarowe

##### 4.4.1. Bezpośrednia ocena jakości obrazów nadawanych przez nadajniki naziemne

###### Stosowana metoda pomiarowa

Jednobodźcowa ciągła metoda oceny jakości (SSCQE), zgodna z Zaleceniem ITU-R BT 500-11, polegająca na obserwacji przez grupę obserwatorów na odbiorniku telewizyjnym (HD ready lub full HD) programu telewizyjnego HDTV, stanowiącego sygnały cyfrowe kodowane wg. standardu H264, nadawanego przez nadajnik telewizji naziemnej i ocenie ich jakości stosując skalę ciągłą od 0 do 100.

###### Miejsce przeprowadzania pomiarów:

Pomiary przeprowadzono w laboratorium (pok.259). Ze względu na brak specjalistycznych urządzeń (zestaw obrazów testowych SDTV, HDTV oraz koder H264) oceniano materiał odbierany za pomocą anteny z nadajników telewizji naziemnej. Obydwa umieszczone w Pałacu Kultury nadajniki naziemnych telewizyjnych sygnałów cyfrowych transmitują obecnie po jednym programie HDTV.

###### Przyjęte warunki obserwacji

Zgodne z rozdziałem 4.3.

###### Układ pomiarowy

Schemat układu pomiarowego podano na rysunkach 1 i 2.

###### Zastosowane przyrządy:

- odbiornik telewizyjny (full HD oraz HD ready) wykorzystywane kolejno;
- tor odbiorczy: antena, set-top-box AVC/H264, odbiornik TV (HD ready), lub antena, odbiornik TV (full HD).

###### Oceniany materiał

Obrazy telewizji programowej. Ponieważ ocena jakości obserwowanych obrazów zależy w dużym stopniu od ich treści obserwacje należy przeprowadzać dla programów o różnej treści, a mianowicie : krytycznej – transmisje sportowe, średnio krytycznej – filmy oraz mało krytycznej – dyskusja panelowa.

###### Obserwatorzy

Zgodnie z Zaleceniem BT500-11 pomiary powinny być wykonywane przez co najmniej 15 obserwatorów niespecjalistów. Biorąc pod uwagę , że zgodnie z przyjętymi warunkami obserwacji maksymalny kąt obserwacji wynosi  $30^0$  to przy uwzględnieniu wielkości pomieszczenia jednocześnie udział w pomiarach będą mogły brać 3 osoby. Należy więc przeprowadzać 5 identycznych sesji pomiarowych z udziałem innych obserwatorów dla tego samego lub bardzo podobnego materiału o tej samej krytyczności.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy skontrolować ostrość wzroku obserwatorów. Obserwatorzy używający okularów powinni obserwować obrazy w odpowiednich okularach. Ponadto obserwatorzy powinni być szczegółowo zapoznani z metodyką pomiarową ocenianymi parametrami obrazu oraz przyjętą metodą oceny.

#### Skala ocen

Przyjęto skalę ciągłą, która zapewnia większą dokładność pomiarów.

Obserwatorzy oceniając obserwowany obraz zmieniają położenie suwaka w skali 0-100%. Z suwaków obserwatorów są pobierane próbki w określonych momentach czasowych (co 1 sek.) i przesyłane do komputera pomiarowego w celu dalszej obróbki, zgodnie z rozdziałem 4.5.

#### Sesja pomiarowa

Czas trwania sesji pomiarowej dla jednej grupy 3 obserwatorów wynosi około 15 minut.. Na początku sesji obserwatorzy powinni być szczegółowo zapoznani z metodyką pomiarową ocenianymi parametrami obrazu oraz przyjętą metodą oceny. Obserwatorzy oceniają jakość odbieranych obrazów w sposób ciągły przesuwając położenia suwaków, z których są pobierane do komputera próbki co 1 sek w celu obróbki statystycznej. Identyczne sesje pomiarowe, dotyczące tego samego rodzaju materiału należy powtórzyć dla następnych 4 grup obserwatorów. Następne kolejne sesje powinny obejmować różne rodzaje ocenianego materiału. Pełna prezentacja dla danej grupy 15-tu obserwatorów powinna obejmować trzy rodzaje prezentowanego materiału.

#### 4.4.2. Porównanie jakości obrazu przesyłanego metodą analogową oraz cyfrową z kodowaniem AVC/H264 – SDTV

##### Stosowana metoda pomiarowa:

Jednobodźcowa metoda porównawcza, zgodna z Zaleceniem ITU-R BT 500-11[6], polegająca na obserwacji przez grupę obserwatorów na dwóch identycznych odbiornikach telewizyjnych (identycznie wyregulowanych) tego samego programu telewizyjnego nadawanego przez dwa różne nadajniki, z których jeden pracuje nadaje sygnały analogowe, drugi natomiast sygnały cyfrowe kodowane wg. standardu AVC/H264 i porównaniu ich jakości stosując 7-o stopniową skalę porównawczą.

##### Miejsce przeprowadzania pomiarów:

Pomiary należy przeprowadzić w laboratorium (pok.259). Ze względu na brak specjalistycznych urządzeń (koder H264) oceniać należy materiał odbierany za pomocą anten z nadajników telewizji naziemnej. Umieszczone na Pałacu Kultury nadajniki naziemnych telewizyjnych sygnałów cyfrowych transmitują obecnie następujące sygnały: nadajnik Emitera: TVP1, TVP2, TV INFO, TV SPORT oraz HDTV, natomiast nadajnik POT: TVN, Polsat, TV4 i HDTV.

##### Przyjęte warunki obserwacji

Zgodne z rozdziałem 4.3.

##### Układ pomiarowy

Schemat układu pomiarowego podano na rysunkach 3 i 4.

##### Zastosowane przyrządy:

- Dwa identyczne odbiorniki telewizyjne (full HD oraz HD ready) jeden w torze analogowym, drugi torze cyfrowym;



- Tor cyfrowy: antena, set-top-box AVC/H264, odbiornik TV;
- Tor analogowy: antena, odbiornik TV.

### Oceniany materiał

Obrazy telewizji programowej. Ponieważ ocena jakości obserwowanych obrazów zależy w dużym stopniu od ich treści obserwacje należy przeprowadzać dla programów o różnej treści, a mianowicie : krytycznej – transmisje sportowe, średnio krytycznej – filmy oraz mało krytycznej – dyskusja panelowa.

### Obserwatorzy

Zgodnie z Zaleceniem BT500-11 pomiary powinny być wykonywane przez co najmniej 15 obserwatorów niespecjalistów. Biorąc pod uwagę , że zgodnie z przyjętymi warunkami obserwacji maksymalny kąt obserwacji wynosi  $30^{\circ}$  to przy uwzględnieniu wielkości pomieszczenia jednocześnie udział w pomiarach będą mogły brać 3 osoby. Należy więc przeprowadzać 5 identycznych sesji pomiarowych z udziałem innych obserwatorów dla tego samego lub bardzo podobnego materiału o tej samej krytyczności. Przed przystąpieniem do pomiarów należy skontrolować ostrość wzroku obserwatorów. Obserwatorzy używający okularów powinni obserwować obrazy w odpowiednich okularach. Ponadto obserwatorzy powinni być szczegółowo zapoznani z metodyką pomiarową ocenianymi parametrami obrazu oraz przyjętą skalą ocen.

### Skala ocen

Siedmiostopniowa skala porównawcza:

-3	znacznie gorszy
-2	gorszy
-1	nieco gorszy
0	taki sam
+1	nieco lepszy
+2	lepszy
+3	znacznie lepszy

Porównanie należy przeprowadzać oceniając jakość obrazu nadawanego cyfrowo w stosunku do obrazu analogowego.

### Sesja pomiarowa

Przewidywany czas trwania sesji pomiarowej dla jednej grupy (3) obserwatorów wynosi około 15 minut.. Na początku sesji obserwatorzy powinni być szczegółowo zapoznani z metodyką pomiarową, ocenianymi parametrami obrazu oraz przyjętą skalą ocen.

Ponieważ pomiar polega na porównaniu dwóch obrazów przesuniętych w czasie o ok. 5 sek. Obserwatorzy powinni wystawiać oceny co 10 sekund. Oceny te są umieszczane na specjalnych arkuszach, na których podać należy również nazwisko obserwatora, godzinę i rodzaj ocenianego programu. Uzyskane dane podlegają obróbce statystycznej według rozdziału 4.5. Identyczne sesje pomiarowe, dotyczące tego samego rodzaju materiału należy powtórzyć dla następnych 4 grup obserwatorów. Następne kolejne sesje dla 15-tu obserwatorów powinny obejmować różne rodzaje ocenianego materiału. Pełna prezentacja dla grupy 15-tu obserwatorów powinna obejmować trzy rodzaje prezentowanego materiału

#### 4.5. Specyfikacja pomiarów sygnałów HDTV

Przystępując do oceny jakości obrazów HDTV należy uwzględnić cel prowadzenia badań, inne są bowiem wymagania nadawców niż wymagania odbiorców (użytkowników usługi). Tor telewizyjny obejmuje różne fazy jak: produkcja programu, jego kontrybucja i rozprowadzanie (dystrybucja) pierwotna i wtórna do abonenta.

W fazie produkcji i kontrybucji są stosowane bardzo duże prędkości bitowe, a także na obecnym etapie różne algorytmy kodowania (MPEG 2 / MPEG 4). Ważnym parametrem jest również strategia próbkowania 4:4:4; 4;2:2; lub 4:2:0. W materiałach źródłowych jakości studyjnej dla uniknięcia filtracji przyjmuje się 4:4:4, natomiast w zależności od strategii próbkowania występują różnice pomiędzy obrazami między liniowymi i kolejno liniowymi. Dla wielu zastosowań może być dopuszczalne w obrazach kolejno liniowych próbkowanie 4:2:0. Składowe koloru są kodowane za pomocą 8 bitów lub 10 bitów. Stosuje się wówczas dwubodźcową metodę oceny jakości (DSCQS), a urządzenia konsumenckie nie mogą wchodzić w tor pomiarowy.

Celem natomiast projektu HDTV grupy VQEG [11] jest analiza modeli stosowanych przy pomiarach jakości cyfrowych sygnałów wizyjnych HDTV oraz opracowanie bazy danych, które mogą być wykorzystywane dla ulepszenia tych modeli dla wszystkich mediów transmisyjnych. W pierwszym etapie badań przyjęto format obrazu 1080i 60Hz i 50Hz, oraz 1080p 30Hz i 25Hz i zastosowano metodę jednobodźcową bezwzględnej oceny kategorycznej z ukrytym odniesieniem (Absolute Category Rating with Hidden Reference), zgodnie z Zaleceniem ITU-T P 910 rev1.[10].

W przypadku rozprowadzania (dystrybucji) sygnałów do abonenta podstawowe parametry sygnałów źródłowych jak strategia próbkowania, algorytm kodowania i liczba bitów na próbkę koloru jest ściśle ustalona w sygnale wejściowym, podstawowym mierzonym parametrem jest więc zależność jakości odtwarzanego obrazu od wielkości przesyłanego strumienia.

Wymagania na system z punktu widzenia dystrybutorów zatem obejmują możliwość uzyskania jak największej jakości odtwarzanego obrazu przy możliwie najniższym przesyłanym strumieniu bitów. Pozwoli to na przesłanie w przydzielonym paśmie częstotliwości odpowiednio większej liczby programów, włączając programy HDTV. Z punktu widzenia użytkownika najbardziej korzystnym jest otrzymywanie jak największej liczby programów dużej jakości przy możliwie małych opłatach. Profesjonalne badania subiektywne w tym przypadku polegają na ocenie jakości odtwarzanych obrazów przy różnych wartościach parametrów transmisyjnych, a przede wszystkim prędkości bitowej. Wymagają one budowy toru transmisyjnego zawierającego źródło obrazów testowych, koder umożliwiający ustawienie różnych wartości parametrów, dekodery AVC/H264 i odbiornik HDTV.

Tor taki można zrealizować dwoma metodami:

- czysto hardwerową, co biorąc pod uwagę trudności z interfejsem pomiędzy źródłem sygnałów i koderem oraz cenę kodera jest inwestycją bardzo kosztowną;
- hardwerowo-softwerową, wymagającą odpowiedniej karty do komputera, specjalistycznego oprogramowania oraz kodera softwerowego. Koszt toru wynosi w tym przypadku około 20 tys.zł.

#### 4.6. Analiza wyników

Uzyskane wyniki pomiarów subiektywnych należy poddać analizie statystycznej. Pierwszym stopniem tej analizy (według Zalecenia ITU-R BT 500-11) jest obliczenie wartości średniej dla każdej prezentacji według wzoru:

$$\bar{u}_{jk} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{ijk}$$

gdzie

$u_{ijk}$  - ocena obserwatora „i” dla prezentacji „j”, rodzaju materiału „k”,

N - liczba obserwatorów

Podobne średnie można obliczyć dla każdego obserwatora i każdego rodzaju materiału.

Dalszym stopniem analizy wyników jest obliczenie, związanego z obliczonymi wartościami średnich, marginesu pewności. Margines ten jest pochodnym odchylenia standardowego i liczby obserwatorów..

Odchylenie standardowe dla każdej prezentacji jest wyrażone wzorem:

$$S_{jk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{u}_{jk} - u_{ijk})^2}{(N-1)}}$$

Zaproponowano przyjęcie 95%-ego marginesu pewności, określonego następująco:

$$[\bar{u}_{jk} - \delta_{jk}, \bar{u}_{jk} + \delta_{jk}]$$

gdzie:

$$\delta_{jk} = 1,96 \frac{S_{jk}}{\sqrt{N}}$$

Przy prawdopodobieństwie 95%, wartość bezwzględna różnicy pomiędzy eksperymentalną oceną średnią, a „prawdziwą” wartością oceny średniej (dla bardzo dużej liczby obserwatorów) jest mniejsza niż 95% margines pewności, pod warunkiem, że rozkład ocen indywidualnych spełnia określone warunki.

Podobnie odchylenie standardowe można obliczyć dla każdej prezentacji.

Zauważono, jednakże, że w przypadku bardzo małej liczby różnych ocenianych materiałów, większy wpływ na to odchylenie standardowe mają różnice pomiędzy ocenianymi rodzajami materiałami, niż zmienność ocen obserwatorów.

#### 4.7. Omówienie uzyskanych wyników pomiarów

##### 4.7.1. Bezpośrednia ocena jakości obrazów nadawanych przez nadajniki naziemne

###### 4.7.1.1. Ocena jakości obrazów HDTV

Pomiary przeprowadzono jednobodźcową ciągłą metodą oceny jakości (SSCQE), w trzech sesjach pomiarowych, z których każda obejmowała jedną prezentację. Podczas każdej sesji obraz obserwowało 15-tu obserwatorów niespecjalistów telewizyjnych o dobrym wzroku lub w odpowiednich okularach. Obserwowano obrazy o treści krytycznej – transmisję meczu sportowego na odbiorniku „full HD”(2 prezentacje) i „HD ready” (1 prezentacja). Obserwatorzy oceniając obserwowany obraz zmieniali położenie suwaka w skali 0-100%. Na podstawie pobranych próbek obliczono w komputerze odpowiednio ocenę średnią (MOS –

mean opinion scale), odchylenie standardowe (S – standard deviation) oraz wyznaczono 95 % - owoy margines pewności CI – confidence intervall).

Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy 1.

**Tablica 1**

<b>Prezentacja</b>	<b>MOS</b>	<b>S</b>	<b>CI</b>
pierwsza	78,17357	19,34287	56,17357 – 100,06272
druga	77,62698	5,849492	70,963056 – 84,286622
trzecia	77,85903	14,44647	61,510832 – 94,207228

Wszystkie wystawione przez obserwatorów oceny znajdują się wewnątrz obliczonego marginesu pewności CI. Uzyskana wartość średnia (MOS), odpowiada ocenie około 4,5 pięciostopniowej skali bezpośredniej, co świadczy, że obserwowany obraz jest bardzo dobrej jakości.

Podczas emisji programu HDTV występowały jednak w nieokreślonych momentach czasu zakłócenia zrywające obraz, których przyczyna nie została jednoznacznie określona.

#### 4.7.1.2. Ocena jakości obrazów SDTV

Pomiary przeprowadzono jednobodźcową ciągłą metodą oceny jakości (SSCQE), w trzech sesjach pomiarowych, z których każda obejmowała jedną prezentację. Podczas każdej sesji obraz obserwowało 15-tu obserwatorów niespecjalistów telewizyjnych o dobrym wzroku lub w odpowiednich okularach. Obserwowano obrazy o treści krytycznej: „taniec z gwiazdami”(pierwsza prezentacja), średnio krytycznej: film: „m-jak miłość”( druga prezentacja) oraz mało krytycznej: „dzień dobry TVN”( trzecia prezentacja) na odbiornikach „full HD”. Obserwatorzy oceniając obserwowany obraz zmieniali położenie suwaka w skali 0-100%. Na podstawie pobranych próbek obliczono w komputerze odpowiednio ocenę średnią (MOS – mean opinion scale), odchylenie standardowe (S – standard deviation) oraz wyznaczono 95 % - owoy margines pewności CI – confidence intervall).

Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy 2.

**Tablica 2**

<b>Prezentacja</b>	<b>MOS</b>	<b>S</b>	<b>CI</b>
pierwsza	77,53621	10,32518	65,84175 – 89,23067
druga	78,35742	5,32635	72,33009 – 84,58475
trzecia	79,23465	8,27123	69,87487 – 88,59443

Wszystkie wystawione przez obserwatorów oceny znajdują się wewnątrz obliczonego marginesu pewności CI. Uzyskana wartość średnia (MOS), odpowiada ocenie około 4,5 pięciostopniowej skali bezpośredniej, co świadczy, że obserwowany obraz jest bardzo dobrej jakości.

#### 4.7.2. Porównanie jakości obrazu przesyłanego metodą analogową oraz cyfrową z kodowaniem AVC/H264 – SDTV

Pomiary przeprowadzono jednobodźcową metodą porównawczą w czterech sesjach pomiarowych, z których trzy obejmowały po jednej prezentacji, a czwarta – osiem prezentacji. Podczas każdej sesji obraz obserwowało 15-tu obserwatorów niespecjalistów telewizyjnych o dobrym wzroku lub w odpowiednich okularach. Obserwowano obrazy o treści mało krytycznej: „dzień dobry TVN” (pierwsza prezentacja), średnio krytycznej: film: „pieskie życie” (druga prezentacja) i krytycznej: „taniec z gwiazdami” (osiem prezentacji od 3 do 10) na odbiornikach „full HD” oraz obrazy o treści średnio krytycznej: film: „m-jak miłość” (jedenasta prezentacja) i krytycznej: „taniec z gwiazdami” (dwunasta prezentacja) na odbiornikach „HD ready”. Obserwatorzy oceniali oglądany obraz według siedmiostopniowej skali porównawczej i wpisywali swoje oceny do odpowiednich arkuszy.

Oceny te poddano analizie statystycznej obliczając kolejno ocenę średnią (MOS – mean opinion scale), odchylenie standardowe (S – standard deviation) oraz wyznaczono 95 % - owo margines pewności CI – confidence intervall).

Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelicy 3.

**Tablica 3**

<b>Prezentacja</b>	<b>MOS</b>	<b>S</b>	<b>CI</b>
pierwsza	-0,065	0,4836	-0,3097 ÷ +0,1797
druga	-0,1125	0,50997	-0,3796 ÷ +0,1546
trzecia	-0,133	0,600	-0,812 ÷ +0,546
czwarta	-0,20	0,60	-0,800 ÷ +0,479
piąta	-0,27	0,64	-0,994 ÷ +0,697
szósta	+0,07	0,23	-0,190 ÷ +0,330
siódma	-0,27	0,01	-0,2813 ÷ -0,259
ósma	+0,07	0,31	-0,280 ÷ +0,420
dziewiąta	-0,07	0,31	-0,420 ÷ +0,280
dziesiąta	-0,07	0,12	-0,206 ÷ +0,129
jedenasta	+0,3	0,325	-0,0185 ÷ + 0,6185
dwunasta	+0,25	0,563	-0,387 ÷ +0,887

Średnie obliczone dla każdego obserwatora znajdują się wewnątrz obliczonego marginesu pewności CI. Oceny średnie dla każdej prezentacji są zbliżone do 0, co świadczy, że obserwatorzy nie widzą zauważalnej różnicy jakości pomiędzy obrazami nadawanymi metodą analogową i metodą cyfrową z kodowaniem AVC/H264.

#### **5. Wymagania techniczne na urządzenia do odbioru naziemnych cyfrowych transmisji telewizyjnych**

Jak powiedziano w rozdziale 1 w ramach pracy współpracowano również przy opracowywaniu wymagań techniczno-eksploatacyjnych dotyczących odbiorników telewizji naziemnej, zgodnie z rozporządzeniem Ministra właściwego ds. łączności, wydanym na podstawie delegacji art. 132 ust. 3 Prawa Telekomunikacyjnego.[12]. Wymagania [13] dotyczą urządzeń przeznaczonych do odbioru sygnałów naziemnej telewizji cyfrowej dla użytkownika końcowego, zasilanych z sieci energetycznej. Urządzenia zawierają co najmniej

tuner (obejmujący głowice w.cz i demodulator), demultiplekser i dekodery odbieranych usług (set-top-box), a w przypadku odbiorników również wyświetlacz obrazu.

Podstawą ustalenia wartości parametrów była specyfikacja techniczna ETSI TS 102 154 V1.8.1[14]. W oparciu o zapisy tej specyfikacji zaproponowano, odbiorniki naziemnej telewizji cyfrowej w Polsce miały parametry zdefiniowane w powyższej specyfikacji jako 25 Hz, H264/AVC HDTV dla sygnałów wizyjnych, MPEG2 Warstwa 2 i E-AC-3 dla sygnałów fonicznych, zdolne do dekodowania w paśmie podstawowym obrazów o rozdzielczości 1920x1080 między liniowych 25 Hz lub 1280x720 kolejno liniowych. Odbiornik powyższy powinien zapewniać odbiór sygnałów cyfrowych DVB-T o parametrach zgodnych z [12], nadawanych w zakresach: VHF (174-230 MHz) w kanałach o szerokości 7 MHz i UHF (470-862 MHz) w kanałach o szerokości 8 MHz, powinien być zdolny do automatycznego przeszukiwania całego zakresu częstotliwości dostępnego dla głowicy w.cz. oraz dostrojenia do prawidłowych parametrów DVB-T. Odbiornik powinien ponadto oprócz odbioru programów telewizyjnych i radiofonicznych niekodowanych zapewnić wybór napisów, odbiór teletekstu, formatowanie obrazu i rodzicielska kontrola dostępu. Do nieobowiązkowych własności odbiornika należą: dostęp warunkowy, interfejs oprogramowania aplikacji API i kanał zwrotny.

## 6. Wnioski

Uzyskane wyniki subiektywnej oceny jakości odtwarzanego obrazu wykazały, że:

- odbierane obrazy SDTV na odbiornikach full HD są bardzo dużej jakości, a odbiór następuje bez zakłóceń;
- odbierane obrazy HDTV zarówno na odbiornikach full HD jak i HD ready są jeszcze większej jakości zapewniając więcej szczegółów niż obrazy SDTV. Jednakże podczas odbioru programu HDTV występowały w nieokreślonych momentach czasu zakłócenia zrywające obraz, których przyczyna nie została jednoznacznie określona. Powodem tych zakłóceń może być bądź zbyt mały poziom odbieranego sygnału w.cz. bądź też niedostosowanie urządzeń odbiorczych (set-top-boxa i dekodera w odbiorniku telewizyjnym) do dużej prędkości bitowej przychodzącego sygnału HDTV. Problem ten wymaga wyjaśnienia w następnym etapie pracy.

Przeprowadzona analiza porównawcza algorytmów kompresji sygnałów z punktu widzenia wymaganej prędkości bitowej i jakości odtwarzanego obrazu wykazała, że

- jedynym standardem kodowania sygnału wizyjnego, który powinien być stosowany w Polsce jest standard AVC/H264, strumień transportowy MPEG2-TS, natomiast dla kodowania dźwięku przyjęto stosowany obecnie standard E-AC-3.(Dolby Digital Plus).

Badania wpływu szerokości przesyłanego strumienia bitów(prędkości bitowej) na jakość odtwarzanego obrazu , które mają wpływ na określenie wymaganych prędkości bitowych dla danych programów i służb i określenie liczby programów, które mogą być przesłane w danym paśmie częstotliwości, stanowi nadal bardzo ważne i dyskusyjne zagadnienie. Dotyczy to przede wszystkim telewizji o dużej rozdzielczości obrazu HDTV.

Profesjonalne badania subiektywne wymagają budowy toru transmisyjnego zawierającego źródło obrazów testowych, koder umożliwiający ustawienie różnych wartości parametrów, dekodery AVC/H264 i odbiornik HDTV. Tor taki można zrealizować dwoma metodami:

- czysto hardwerową, co biorąc pod uwagę trudności z interfejsem pomiędzy źródłem sygnałów i koderem oraz cenę kodera jest inwestycją bardzo kosztowną;

- hardwerowo-softerową, wymagającą odpowiedniej karty do komputera, specjalistycznego oprogramowania oraz kodera softerowego. Koszt toru wynosi w tym przypadku około 20 tys.zł.

W ramach pracy z powodu braku odpowiednich funduszy, dążono do uzyskania maksymalnych efektów przy minimalizacji kosztów. Korzystano więc z darmowego oprogramowania i nagranych na dysku, otrzymanych drogą e-mailową obrazów testowych. Współpraca pamięci dyskowej z komputerem nie pozwoliła na pełne wykorzystanie tych obrazów, gdyż posiadane oprogramowanie nie zapewniało odpowiedniego ich odtwarzania. Nie było więc możliwości wykonania pomiarów w pełni profesjonalnych.

Biorąc pod uwagę:

- tendencje światowe i rozwój przemysłu, a więc coraz powszechniejszą dostępność szerokoekranowych odbiorników telewizyjnych LCD:
- rosnące stale zainteresowanie widzów oglądaniem obrazów o podwyższonej oraz dużej rozdzielczości,

należy stwierdzić, że nadawanie telewizji o dużej rozdzielczości obrazu (HDTV) jest nieuniknione, niezależnie od wykorzystywanego medium transmisyjnego.

Jak jednak wynika z analizy obecnego stanu wprowadzenia naziemnej telewizji cyfrowej w Polsce, emisja programów HDTV może być opóźniona, a rozprowadzanie sygnałów HDTV drogą satelitarną, dzięki dużej szerokości dostępnego pasma częstotliwości jest praktycznie rozwiązane, prowadzone badania należy ukierunkować, zgonie z tendencjami światowymi, na telewizje internetową.

Zastosowanie do transmisji sygnałów telewizyjnych czwartego, obok telewizji naziemnej, satelitarnej i kablowej, medium transmisyjnego – szerokopasmowych sieci telekomunikacyjnych, działających z wykorzystaniem protokołu IP jest tematem priorytetowym podejmowanym zarówno w świecie jak i w Europie. Tematyka ta znajduje się w planach prac międzynarodowych organizacji normalizacyjnych, a przede wszystkim Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego(UIT), którego członkiem jest Administracja Polska. Prowadzone prace dotyczą zarówno parametrów systemowych jak i pomiarów ogólnej jakości usługi oraz jakości odbieranych programów telewizyjnych. Zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej sieci przenoszące sygnały telewizyjne muszą spełniać nie tylko wymagania zasadnicze dotyczące bezpieczeństwa i kompatybilności elektromagnetycznej lecz również mieć odpowiednie parametry zapewniające wymaganą jakość odbioru

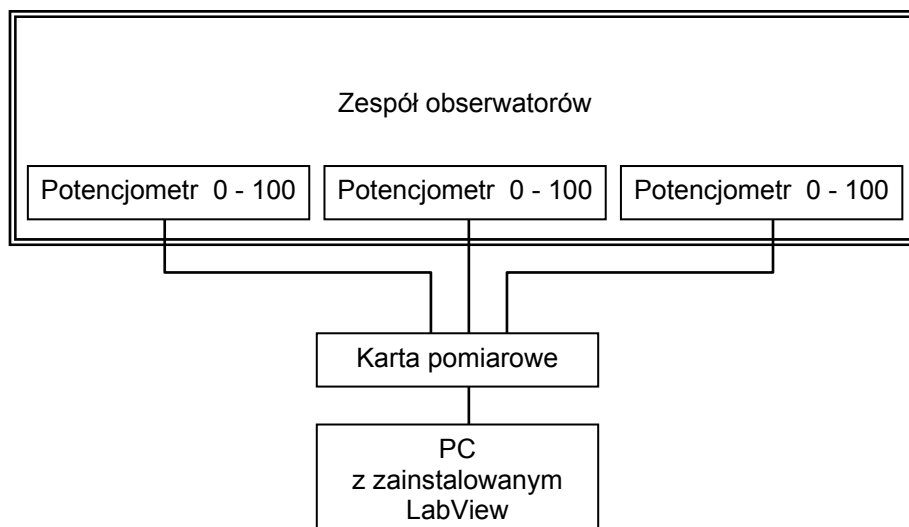
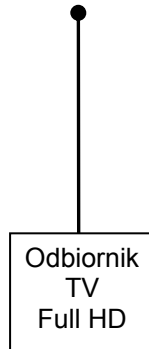
Zagadnienia te nie zostały dotychczas znormalizowane. Niezbędne jest więc prowadzenie badań w celu określenia dopuszczalnych parametrów systemu.

## Bibliografia

- [1] A.Karwowska, A.Chudziński, J.Połujan „Analiza porównawcza algorytmów kodowania sygnału wizyjnego MPEG2 i MPEG4 w celu określenia liczby programów w multipleksie”, Instytut Łączności, Centralne Laboratorium Badawcze, projekt badawczy nr 109/05;09300095, Warszawa, 2005 (patrz także WWW.krrit.gov.pl).
- [2] A.Karwowska-Lamparska,A.Zieliński „Podstawowe założenia koncepcji cyfryzacji naziemnej telewizji programowej w Polsce” Przegląd Telekomunikacyjny , Nr. 5,2008.
- [3] ETSI PN EN 300 744 v1.4.1 (2001)“Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.” Telewizja cyfrowa (DVB); Struktura ramkowania, kodowanie kanałowe i modulacja dla naziemnej telewizji cyfrowej”
- [4] ISO/IEC 13818-11: Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 11: IPMP on MPEG-2 systems 13818-11:2004  
Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 11: IPMP on MPEG-2 systems,2004
- [5] Tobias Oelbaum, Vittorio Baroncini, Thiw Keng Tan, Charles Renimore ”Subjective Quality assessment of the emerging AVC/H264 video coding standard” Report of the formal verification tests on AVC/H264, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11,2003.
- [6] ITU-R Rec.BT 500-11”Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, 2006.
- [7] ITU-R Rec BT 1129-2 “Subjective assessment of standard definition (SDTV) systems”, 1998.
- [8] ITU-R Rec. BT 710-4 “Subjective assessment methods for image quality in high definition television”, 1998.
- [9] ITU-T Rec. P910 rev1 “Subjective video quality assessment methods for multimedia applications”, 2008.
- [10] ITU-T Rec.911 “Subjective audiovisual quality assessment methods for multimedia applications”, 1998.
- [11] VQEG HDTV Group “Test Plan for Evaluation of Video Quality Models for Use with High Definition, TV Content” Draft Version 2.4.2008.
- [12] Ustawa z dnia 16 lipca 2004 r Prawo telekomunikacyjne. Dz.U. Nr.171 poz.1800 z późn. zm.
- [13] Projekt Rozporządzenia Ministra Infrastruktury; w sprawie wymagań technicznych i eksploatacyjnych dla urządzeń konsumenckich służących do odbioru cyfrowych naziemnych transmisji telewizyjnych, 2008.
- [14] ETSI TS 102 154 v1.8.1 „Digital Video Broadcasting (DVB): Specification for use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG2 Transport Stream.

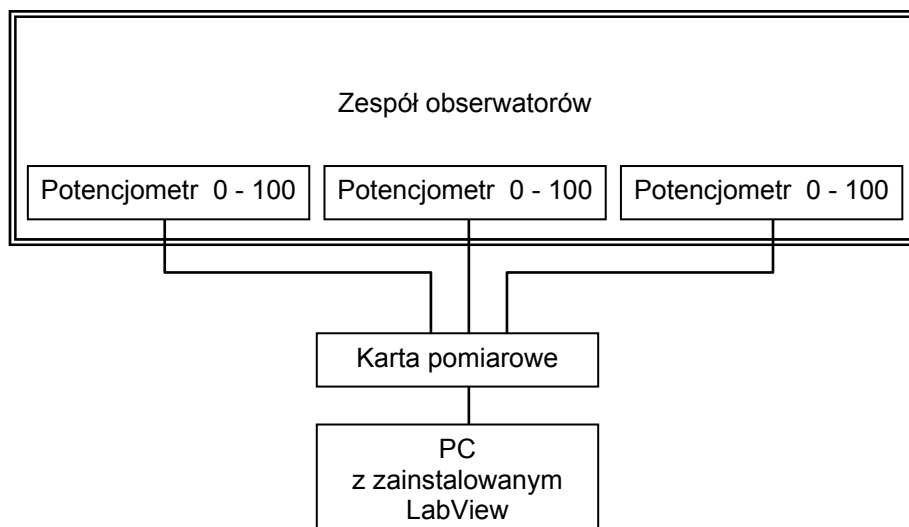
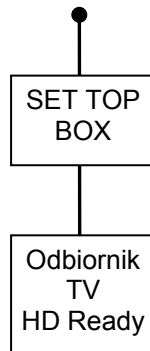


WE anteny  
do odbioru  
naziemnej TV  
cyfrowej

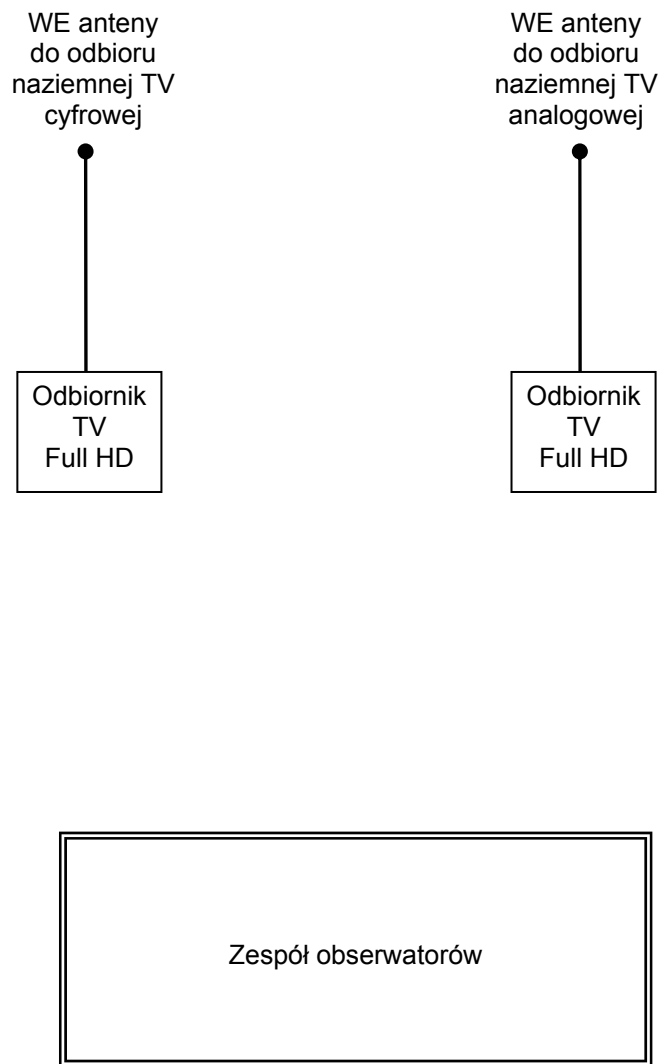


Rys. 1 – Układ do bezpośredniej oceny na odbiorniku „FULL HD” obrazów nadawanych przez nadajniki naziemne

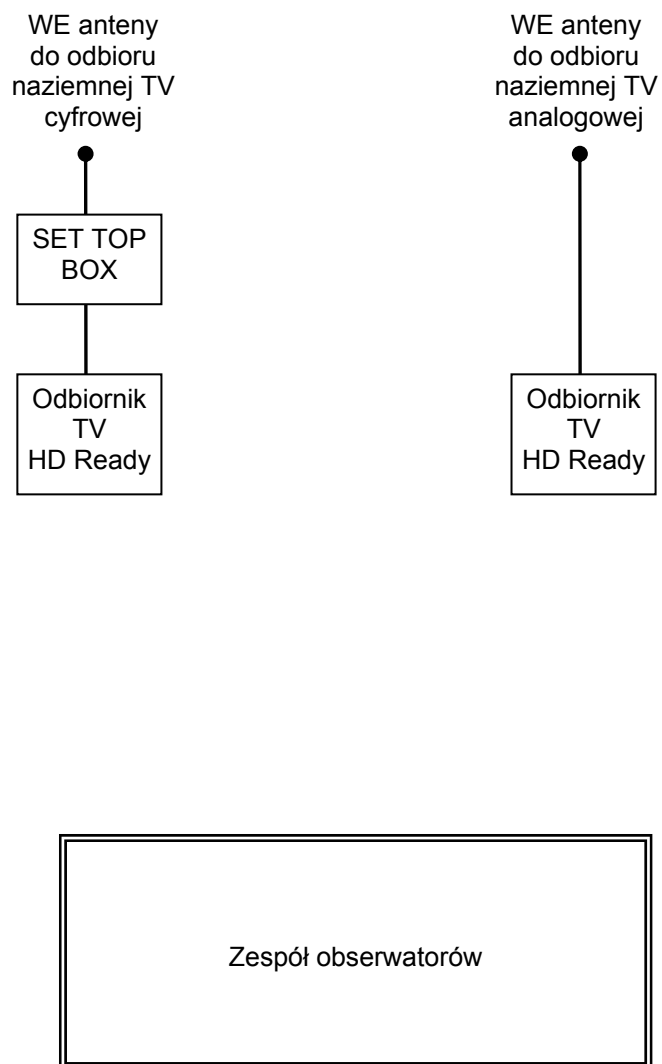
WE anteny  
do odbioru  
naziemnej TV  
cyfrowej



Rys. 2 - Układ do bezpośredniej oceny na odbiorniku „HD READY” obrazów nadawanych przez nadajniki naziemne



Rys. 3 – Układ do badań porównawczych na odbiornikach „FULL HD” jakości obrazu przesyłanego metodą analogową oraz cyfrową



Rys. 4 – Układ do badań porównawczych na odbiornikach „HD READY” jakości obrazu przesyłanego metodą analogową oraz cyfrową