

*Opisano historię rozwoju radiofonii od koncepcji pierwszej emisji radiowej, przez radio kryształkowe, emisję sygnałów radiofonicznych i stereofonię do radia cyfrowego i połączenia go z radiokomunikacją ruchomą. Następnie przedstawiono historię rozwoju telewizji, omawiając kolejno: telewizję mechaniczną, mechaniczno-elektronową, urządzenia telekinomatograficzne, problemy emisji telewizji analogowej, telewizję kolorową, telewizję trójwymiarową, telewizję cyfrową, telewizję o dużej rozdzielczości obrazu, telewizję satelitarną, telewizję kablową, cyfrowe systemy emisyjne oraz telewizję interaktywną.*

*radiofonia, telewizja, historia techniki*

## Zarys rozwoju radiofonii

### Początki radia

Początki radia sięgają prac teoretycznych J. C. Maxwella (1865) i doświadczeń H. R. Herta (1887). Pierwsze praktyczne urządzenia radioelektroniczne zbudowali, niezależnie od siebie, w latach 1895–1897 A. S. Popow i G. Marconi.

Do uzyskania jakiegokolwiek połączenia radiowego są niezbędne dwa podstawowe urządzenia. Potrzebny jest nadajnik – wytwarzający drgania elektryczne o wielkiej częstotliwości, które następnie zostają wypromieniowane w przestrzeń – oraz odbiornik, odbierający te drgania.

W pierwszych nadajnikach (tzw. nadajnikach iskrowych) w przewodzie promieniującym (antenie)  $A$  (rys. 1) były wzbudzane drgania tłumione za pomocą iskiernika  $I$ , zasilanego przez cewkę indukcyjną  $L$ .

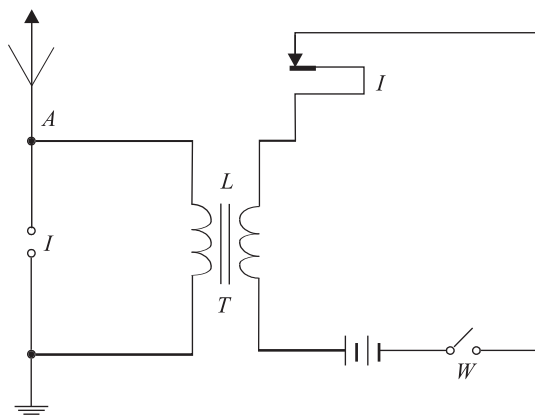
Prąd przerywany, płynący w uzwojeniu pierwotnym cewki indukcyjnej, po włączeniu wyłącznika  $W$  indukował wysokie napięcie w uzwojeniu wtórnym. Gdy napięcie to osiągało wartość dostateczną dla przeskoaku iskry w iskierniku  $I$ , wówczas następowało wyładowanie drgające związane z wypromieniowaniem w przestrzeń energii elektromagnetycznej. Następnym udoskonaleniem nadajnika iskrowego było wzbudzenie drgań za pomocą pośredniego obwodu drgającego (rys. 2).

Nadajnik z obwodem pośrednim umożliwiał wzbudzenie w antenie drgań o znacznie większej mocy niż nadajnik o układzie prostym, gdyż z obwodu anteny został usunięty iskiernik wprowadzający znaczne tłumienie.

Jednakże zastosowanie w obwodzie dwóch sprzężonych obwodów rezonansowych powodowało wzbudzenie drgań o dwóch częstotliwościach, co prowadziło do nieskutecznego wykorzystania mocy nadajnika i zwiększenia zakłóceń w odbiorze innych radiostacji.

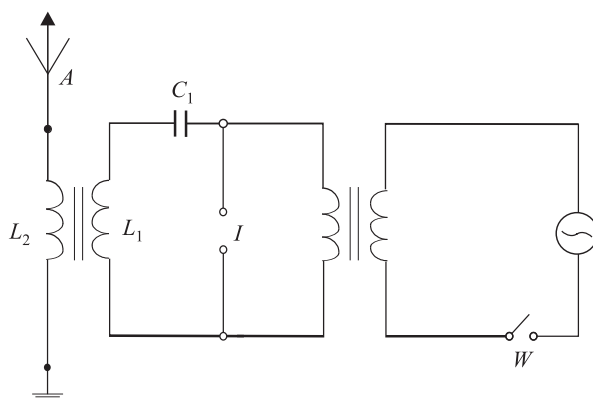
Wady te zostały usunięte przez zastosowanie iskierników o specjalnej konstrukcji (iskiernik wielokrotny Wiena, iskiernik obrotowy Marconiego), umożliwiających nagłe, udarowe pobudzenie anteny. Moc

nadajników iskrowych, w miarę ich rozwoju i doskonalenia, stale wzrastała; ostatnie duże radiostacje iskrowe miały w antenie moc rzędu kilkudziesięciu kilowatów. Miały one również bardzo duże rozmiary.

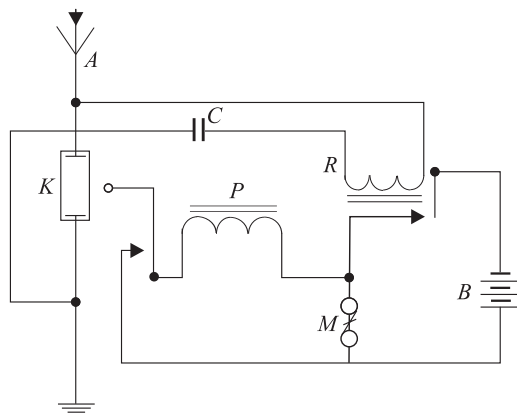


Rys. 1. Nadajnik iskrowy

W pierwszych odbiornikach radiowych (rys. 3) przeznaczonych do odbioru sygnałów nadajników iskrowych, do wykrywania fal elektromagnetycznych służyło bardzo prymitywne urządzenie, tzw. koherer. Koherer  $K$  składał się ze szklanej rurki napełnionej opiłkami metalowymi i zaopatrzonej na obydwu końcach w elektrody, stykające się z tymi opiłkami. Bardzo mała początkowa przewodność koherera szybko wzrastała pod wpływem fal elektromagnetycznych odebranych przez antenę  $A$ . Umożliwiało to – za pośrednictwem przekaźnika  $R$  i baterii lokalnej  $B$  – oddziaływanie na aparat Morse'a  $M$  i zapisywanie sygnałów na taśmie. Jednocześnie z aparatem Morse'a był uruchamiany przerywacz młoteczkowy  $P$ , który wstrząsał opiłki znajdujące się w kohererze i zmniejszał jego przewodność, a tym samym przygotowywał go do odbioru następnego sygnału.



Rys. 2. Nadajnik z obwodem pośrednim



Rys. 3. Pierwszy odbiornik radiowy

Wkrótce koherer i aparat Morse'a zostały zastąpione przez detektor kryształkowy i słuchawkę. Zwiększyło to znacznie czułość odbiornika i umożliwiło odbieranie sygnałów „na słuch”. Pierwsze odbiorniki detektorowe, budowane początkowo jako układ prosty (o jednolitym obwodzie antenowym), a następnie jako układ złożony (o dwóch obwodach – antenowym i pośrednim), były bardzo skomplikowane i duże.

Komunikacja przy użyciu nadajników iskrowych i odbiorników detektorowych odbywała się na falach długich i średnich. Jednocześnie z rozwojem i ulepszaniem nadajników iskrowych pracujących falami tłumionymi zaczęto przeprowadzać próby połączeń radiowych przy użyciu fal ciągłych. Jako generatory fal ciągłych były używane: łuk elektryczny (łuk Poulsen'a) i prądnice dużej częstotliwości (maszyny Wołogdina, Alexandersona i innych). Nadajniki łukowe i maszynowe pracowały oczywiście na falach długich.

Do odbioru sygnałów tych nadajników były używane odbiorniki detektorowe zaopatrzone w specjalne przerywacze mechaniczne. Przerywacze te, przez okresowe rozwieranie obwodu odbiornika, umożliwiały odbieranie sygnałów nietłumionych „na słuch” w postaci tonu, którego wysokość zależała od częstotliwości przerywania. Istotny przełom w rozwoju radiotechniki stanowił wynalazek lamp elektronowych. Rozpoczęto wówczas próby odbioru drgań nietłumionych odbiornikami detektorowymi metodą dudnienia, a po opracowaniu lamp dużej mocy nadajniki łukowe i maszynowe zostały całkowicie wyparte przez generator lampowy.

Przed ukazaniem się lamp elektronowych łączność radiową nawiązywano głównie na falach długich i średnich. Lampa elektronowa umożliwiała opanowanie i wykorzystanie fal krótkich, ultrakrótkich, a nawet decymetrowych i centymetrowych.

Zastosowanie lamp elektronowych w wielu urządzeniach i aparatach radiotechnicznych przyczyniło się do szybkiego ulepszenia ich jakości, a ponadto wykorzystania połączeń radiowych do przekazywania na odległość obrazów zarówno nieruchomych (fototelegrafia), jak i ruchomych (telewizja).

Lampa elektronowa wywarła również bardzo duży wpływ na rozwój nadzwyczaj ważnej gałęzi radiotechniki – radionawigacji lotniczej i morskiej. Rozszerzyła też zakres stosowania radiotechniki na pokrewne działy łączności (łączność przewodową) oraz na inne działy techniki i nauki, mające bardzo małą styczność nie tylko z radiotechniką, ale w ogóle z łącznością.

Przesyłanie wiadomości za pomocą fal radiowych wymaga nacechowania tych fal zależnie od rodzaju przesyłanej wiadomości. W tym celu poddaje się je modulacji. Jedną z nich, tzw. modulacją amplitudy, polega na zmianach amplitudy fali promieniowanej zgodnie z właściwościami przesyłanej wiadomości. Druga, zwana modulacją częstotliwości, polega na zmianie częstotliwości fali promieniowanej zgodnie z rodzajem przesyłanej wiadomości, przy utrzymywaniu stałej wartości amplitudy.

## ***Emisja radiofoniczna***

Pierwsze próby przesyłania na odległość sygnałów fonicznych przeprowadzono na początku XX wieku (np. doświadczalna transmisja występów E. Carusa w Metropolitan Opera w Nowym Jorku). Jednak szybki rozwój radiofonii nastąpił dopiero w latach dwudziestych XX wieku. W latach 1922–1933 wszystkie kraje europejskie i USA nadawały już regularne programy radiofoniczne.

Pierwsza doświadczalna stacja radiofoniczna w Polsce rozpoczęła emisję w 1925 r., a stała stacja Polskiego Radia w Warszawie – w 1926 r. Prace w dziedzinie radia w naszym kraju podjęto jednak wcześniej, jeszcze przed odzyskaniem niepodległości. Wystarczy wspomnieć działalność profesora Wiktora Biernackiego (ur. w 1869 r.) czy wojskowej służby radiotelegraficznej (lata 1918–1924) oraz zorganizowanie szkolnictwa radioelektrycznego na Politechnice Warszawskiej (lata 1920–1921) i Politechnice Lwowskiej (lata 1923–1924). Do twórców i nauczycieli radioelektroniki w okresie międzywojennym należeli przede wszystkim: prof. Mieczysław Pożaryski, prof. Kazimierz Drewnowski, prof. Janusz Groszkowski (pierwszy specjalista w zakresie radioelektroniki) i ppłk Kazimierz Knelisz.

Okres rozwoju bazy technicznej radiofonii w Polsce w latach 1926–1939 można podzielić na dwa etapy. W pierwszym etapie (do 1934 r.) stopniowo rozbudowywano sieci radiostacji i rozgłośni, stosując wyłącznie urządzenia nadawcze pochodzenia zagranicznego, np. takich firm, jak: Marconi's Wireless Telegraph Co, Western Electric Co i Standard Electric Company. Największym osiągnięciem tego okresu było zbudowanie 120 kW stacji nadawczej w Raszynie (1931 r.) i 3 stacji 16 kW, przekazanych do Wilna, Lwowa i Poznania.

W drugim etapie (po 1935 r.) nastąpiła intensywne rozbudowa urządzeń nadawczych i studyjnych, ale już z wykorzystaniem aparatury własnej produkcji. W 1934 r. pierwszą polską stacją nadawczą o mocy 24 kW otrzymał Toruń. Następnie zbudowano 7 nadajników średniofalowych o mocy 50 kW (dla Lwowa, Wilna – 2 szt., Poznania, Katowic, Baranowicz i Łucka), 3 nadajniki średniofalowe o mocy 10 kW (dla Łodzi, Krakowa i Warszawy II) oraz nadajnik długofalowy do zwiększenia mocy radiostacji w Raszynie (do 600 kW w antenie). W dniu 31.08.1939 r. Polskie Radio dysponowało 10 stacjami nadawczymi o łącznej mocy 424 kW, w tym 1 pracowała na fali długiej (Raszyn), a 9 na falach średnich o łącznej mocy 304 kW.

Działalność Polskiego Radia została zawieszona w pierwszych dniach drugiej wojny światowej. W okresie okupacji Niemcy wykorzystywali większość radiostacji znajdujących się na terenie Polski do retransmisji programu niemieckiego z Berlina lub do celów wojskowych.

Jednocześnie powstający i rozwijający się polski ruch oporu potrzebował coraz bardziej rozgałęzionych środków łączności. Ze względu na zorganizowany przez Niemców system namiarów goniometrycznych, stacje radiowe musiały wykazywać dużą ruchliwość. Dla utrudnienia Niemcom wykrywania radiostacji polskiego ruchu oporu stosowano zasadę kompensacji opracowaną przez inż. Stefana Manczarskiego. Zastosowanie kompensacji w układzie antenowym nadajnika powodowało prawie całkowite stłumienie promieniowania przyziemnego w płaszczyźnie anteny, co z kolei uniemożliwiało lokalizację stacji za pomocą urządzeń goniometrycznych. Szczególne zadanie przypadło radiostacji konspiracyjnej w czasie powstania warszawskiego.

W okresie okupacji różne stacje radiofoniczne należące do państw koalicji antyhitlerowskiej nadały również audycje w języku polskim. W dniu 7 września 1939 r. BBC rozpoczęła emisję polskich audycji z Londynu, kilka miesięcy później taką działalność podjęło radio francuskie, a 25 czerwca 1941 r. – radio moskiewskie.

Po zakończeniu wojny (w latach 1944–1945) należało rozpocząć od początku odbudowę polskiej radiofonii, ponieważ ogromna większość obiektów radiowych była doszczętnie ograbiona lub wysadzona w powietrze.

Okres rozwoju bazy technicznej radia w latach 1945–1969 można podzielić na dwa etapy. Początkowo (do 1950 r.) prowadzono bardzo intensywną akcję odbudowy studiów i sieci nadawczych. Później (od 1949 r.) budowa rozgłośni i radiostacji zaczęła przybierać charakter zorganizowany, instalowano nowy sprzęt nadawczy i studyjny, budowano nowe obiekty radiofoniczne i zwiększano obszar ich zasięgu.

Obecnie są eksploatowane stacje radiowe, z których np. jedna stacja (o mocy około 1 MW) pracująca na falach długich może zapewnić zadowalającą jakość odbioru na obszarze całej Polski, natomiast stacja pracująca na falach średnich (o zbliżonych parametrach) pokrywa obszar tylko kilku województw, i to ze zmiennymi warunkami odbioru w ciągu doby. Znacznie większą dobową i sezonową zmienność warunków propagacji obserwuje się w zakresie fal krótkich, jednak dzięki zjawisku odbicia fal od jonosfery – przy odpowiednim dobraniu częstotliwości pracy i kąta promieniowania – można uzyskiwać zasięg kilkuset kilometrów przy mocach znacznie mniejszych niż w zakresie fal długich i średnich. Zasięg stacji pracujących na falach ultrakrótkich (UKF) jest praktycznie ograniczony do zasięgu bezpośredniej widoczności między anteną odbiorczą i nadawczą, zatem aby pokryć powierzchnię Polski programami nadawanymi na UKF, musi pracować kilkadziesiąt stacji retransmitujących te same programy. Pasma fal ultrakrótkich wykorzystujące modulację FM, ze względu na niski poziom zakłóceń występujących przy tej modulacji, jest przeznaczone dla sieci nadających programy wysokiej jakości, m.in. stereofoniczne.

## ***Stereofonia***

Istotny przełom w rozwoju radiofonii stanowiło wprowadzenie stereofonii, czyli techniki nadawania i odbierania dźwięku sprawiającego wrażenie przestrzenności jego brzmienia. Pierwsze próby stereofonicznego przesyłania dźwięków przeprowadził A. G. Bell w końcu XIX w., a pierwszą dwukanałową transmisję stereofoniczną zademonstrowano w 1881 r. na wystawie przemysłowej w Paryżu. W 1920 r. A. D. Blumelin opatentował urządzenie stereofoniczne, zawierające dwa głośniki i dwa mikrofony. W 1925 r. radiostacja New Haven nadała próbne audycje stereofoniczne, a w 1933 r. przeprowadzono próbną transmisję stereofoniczną z Filadelfii do Waszyngtonu. W Polsce nadawanie audycji stereofonicznych na falach ultrakrótkich rozpoczęto w 1967 r.

## ***Radio cyfrowe***

Wprowadzenie techniki cyfrowej (której teoretyczne podwaliny sformułowano w latach 30. ubiegłego stulecia) do sprzętu komputerowego, a następnie telekomunikacyjnego, spowodowało cyfryzację większości urządzeń i systemów elektronicznych. Przejście z techniki analogowej do techniki cyfrowej stanowi najbardziej rewolucyjną zmianę w dziedzinie radiofonii od czasu wprowadzenia stereofonicznej emisji radiowej w pasmie UKF FM.

Poszukiwanie nowych rozwiązań, zapewniających lepszy dźwięk oraz możliwości wykorzystania istniejącej już, coraz dynamiczniej rozwijającej się, techniki cyfrowej doprowadziło do ukonstytuowania

się w 1987 r., przy poparciu EBU (*European Broadcasting Union*), konsorcjum Eureka 147 Project. Jest to europejska organizacja skupiająca nadawców, operatorów sieci, przedstawicieli przemysłu oraz instytutów badawczych, zajmujących się problemami radiowymi. W ramach tego projektu opracowano technikę COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*) i znaleziono sposób na pozbycie się redundancji z sygnału fonicznego dzięki kompresji danych opartych na akustycznych charakterystykach ludzkiego ucha. Opracowano także nowe algorytmy korekcji błędów. Testy nowego cyfrowego systemu transmisji radiowej DAB, prowadzone wspólnie z EBU w krajach europejskich, doprowadziły do zatwierdzenia go przez ITU jako obowiązującego standardu. Pierwsze odbiorniki DAB, zgodne z normą europejską ETSI, były już dostępne w 1995 r., ale z powodu wysokiej ceny nie znalazły wielu nabywców. Umożliwiły one jednak przeprowadzenie w Europie terenowych badań na dużą skalę.

W lipcu 1995 r. w Wiesbaden, pod patronatem CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*), odbyło się spotkanie w sprawie T-DAB. Uzgodniono na nim przydziały częstotliwości i podjęto próbę rozwiązania niektórych problemów związanych z wprowadzeniem systemu DAB w Europie. W spotkaniu wzięło udział 35 delegatów CEPT, reprezentujących kraje należące do ITU. W przyjętym przez konferencję planie zarezerwowano dla Polski 17 bloków częstotliwościowych szerokości około 1,5 MHz w zakresie 107 ÷ 106 MHz i jeden blok częstotliwościowy (dla środkowych rejonów kraju) w zakresie 104 ÷ 106 MHz.

W tym samym roku BBC, jako pierwszy nadawca w świecie, rozpoczął emisję w formacie DAB sześciu swoich kanałów. Potem w systemie DAB nadawały swoje programy inne kraje, np. Norwegia, Dania, Szwecja, Belgia i Kanada.

System DAB zapewnia wysoką jakość dźwięku, porównywalną z dźwiękiem otrzymywanym z płyt CD, zarówno z odbiorników stałych, jak i odbiorników w ruchu, np. samochodowych. Umożliwia słuchaczom otrzymywanie różnorodnych dodatkowych informacji w trakcie programu w formie tekstowej i graficznej, wyświetlanej na niewielkim ekranie radioodbiornika.

W 1998 r. powstało następne konsorcjum, którego celem było opracowanie uniwersalnego systemu cyfrowego dla radiofonii z zakresów poniżej 30 MHz, a więc dla fal krótkich, średnich i długich. System ten, zwany DRM, charakteryzuje się wykorzystaniem bardzo wielu nośnych. Zapewnia on znacznie lepszą jakość dźwięku niż radio konwencjonalne, wykorzystujące modulację AM. Poza tym umożliwia realizację wielu użytecznych funkcji, takich jak: przełączanie częstotliwości, programowanie etykietek, przesyłanie informacji tekstowych. Umożliwia też pracę sieci z jedną częstotliwością. Ponadto dla nadawców atrakcyjna jest możliwość przystosowania mocy transmitowanego sygnału cyfrowego do określonych warunków występujących w kanale w indywidualnych torach. Dzięki temu operator sieci może dostarczyć słuchaczowi dobry sygnał niezależnie od wykorzystywanych fal (długich lub krótkich), zmieniających się warunków propagacyjnych na ustalonej trasie. Uruchomienie systemu DRM przewiduje się w 2003 r.

W końcu lat dziewięćdziesiątych powstała koncepcja współpracy DAB i GSM, wynikająca głównie z pobudek handlowych. Wysokie koszty licencyjne systemu 3G dla UMTS spowodowały, że operatorzy sieci telekomunikacji ruchomej zainteresowali się dodatkowymi usługami umożliwiającymi rozszerzenie ich działalności. System DAB stał się idealnym partnerem systemów komórkowych GSM, UMTS, GPRS, zapewniając operatorom dodatkowe możliwości przesyłania danych. Jednak współpraca systemu cyfrowej radiofonii z GSM wymagała wprowadzenia nowych rozwiązań, szczególnie w odbiornikach.

Oczekuje się, że połączenie systemów radia cyfrowego i telefonii komórkowej, powszechnie nazywane DAB/Mobile, przyczyni się do rozszerzenia oferty usług obu służb. Tak więc:

- użytkownicy systemu DAB/Mobile będą mogli korzystać zarówno z ogólnie dostępnych usług transmisyjnych dostarczanych kanałami DAB, jak i z usług dostosowanych do potrzeb użytkownika, dostarczanych kanałami GSM;
- użytkownicy terminali DAB/Mobile będą korzystać z takich usług, jak np. radiowa transmisja interaktywna (*interactive broadcast*) w ruchomych, przenośnych i stacjonarnych warunkach odbioru;
- użytkownicy bez modułu „Mobile” będą mieli możliwość korzystania ze standardowych usług, np. „jeden–do–wielu”;
- kanały transmisyjne powinny być wykorzystywane do usług ogólnego użytku, a kanały telefonii komórkowej – do osobistych transakcji (*personal transactions*) i przekazywania usług „na żądanie” (*on demand services*);
- system powinien być tak zaprojektowany, aby korzystanie z niego było zgodne z interesem publicznym i komercyjnymi interesami operatorów (*commercial broadcasters*);
- podłączony system DAB/Mobile nie powinien wprowadzać żadnych zmian w istniejącym standardzie ETSI;
- użytkownik – klient i jego potrzeby powinny znaleźć się na pierwszym miejscu;
- system DAB/Mobile powinien umożliwiać wykorzystywanie aplikacji internetowych;
- usługi systemu DAB/Mobile docelowo powinny stworzyć masowy rynek dostępnych urządzeń terminalowych i niedrogich interaktywnych usług.

Spodziewane wymagania odnośnie do jakości przyszłych usług i interaktywnych połączeń powinny być porównywalne, a opóźnienia interaktywnych kanałów powinny być akceptowalne przez większość aplikacji.

Terminal systemu DAB/Mobile powinien być łatwy w obsłudze, mieć wyświetlacz i połączenie z Internetem oraz możliwość wybierania usług z prezentacji graficznej.

## Zarys rozwoju telewizji

### *Początki telewizji*

Powszechnie uważa się, że telewizja jest młodą dziedziną telekomunikacji, powstała w zasadzie dopiero po zakończeniu ostatniej wojny światowej. Tymczasem prace nad telewizją, zwłaszcza nad podstawowymi elementami toru telewizyjnego, sięgają w niektórych przypadkach połowy XIX wieku. Szczególnie liczne były propozycje różnych rozwiązań zgłaszanych w końcowych latach XIX wieku i w pierwszych latach XX wieku. Powstało wówczas wiele koncepcji analizy i syntezy obrazu, które do wybierania obrazu, czyli kolejnego nadawania jego elementów i kolejnego ich odtwarzania w miejscu odbioru, wykorzystywały ruchome elementy mechaniczne. Wśród nich można wymienić profesjonalną tarczę Nipkova, tarczę soczewkową Jenkinsa, koło lustrzane Weillera oraz wiele innych propozycji.

Były również polskie propozycje, np. w 1898 r. patent J. Szczepanika na tzw. teletroskop (z wybieraniem za pomocą oscylografu lusterkowego), czy też patent M. Wolfkego (później fizyka światowej sławy),

który w 1898 r. (jako uczeń gimnazjalny) opatentował cały system telewizji bezprzewodowej, proponując wykorzystywanie: fal elektromagnetycznych jako nośnika sygnałów telewizyjnych, tarcz Nipkova jako urządzeń wybierających oraz rury Geislera jako źródła modulowanego światła przy syntezie obrazu. Już wtedy można było przetwarzać strumień świetlny pochodzący od danego elementu obrazu na sygnał elektryczny (wynaleziono bowiem próżniowe fotokomórki emisyjne), a zatem zrealizować wszystkie podstawowe procesy techniki telewizyjnej, tzn. zarówno analizę obrazu, jak i jego syntezę (np. przy użyciu neonówek czy innych lamp jarzeniowych).

Wprowadzenie zasady kolejnej analizy i jednocześnie kolejnej syntezy elementów obrazu (obowiązującej zresztą do dzisiaj), wykorzystującej bezwładność wzroku ludzkiego, umożliwiło wprowadzić odtwarzanie obrazów o dużej liczbie szczegółów, ale jednocześnie bardzo znacznie zmniejszyło czułość przetwornika telewizyjnego. Spowodowane to było bardzo krótkim czasem działania światła na przetworniki optyczno-elektryczne przy analizie obrazu oraz odpowiednio krótkim czasem działania przetwornika elektryczno-optycznego przy jego syntezie. Do realizacji procesu telewizyjnego konieczne było więc wzmacnianie sygnału otrzymanego przy analizie nadawanego obrazu, a z tym trzeba było poczekać, aż zaistniała możliwość wzmacniania słabych sygnałów elektrycznych. To stanowiło zatem główną przyczynę niemożności realizacji podstawowych procesów telewizji.

Dopiero opracowanie lamp elektronowych, umożliwiających wzmacnianie sygnałów oraz rozwój elektroniki w okresie I wojny światowej spowodowały, że po jej zakończeniu nastąpił rozwój radiofonii. W końcu lat dwudziestych XX wieku podjęto także próby realizacji procesów prymitywnej początkowo telewizji. Powstało wówczas wiele systemów telewizji 30-liniowej. Przy małej liczbie nadawanych obrazów wymagały one pasma częstotliwości o szerokości porównywalnej z pasmem częstotliwości stosowanym w radiofonii. W związku z tym takie sygnały telewizyjne mogły być i były nadawane przez niektóre średnionalowe stacje radiofoniczne (np. przez Moskwę czy Berlin). Można więc już mówić o pierwszych próbach realizacji telewizji. Jakość obrazu, jaką dawały systemy kilkudziesięcioliniowe, nie mogła oczywiście zadowalać odbiorców.

Do realizacji systemów umożliwiających odtwarzanie obrazów o jakości w miarę dobrej należało zatem poczekać aż do czasu opracowania lamp elektronowych. Dzięki nim bowiem można było uzyskać wzmocnienie sygnałów o stosunkowo szerokim pasmie częstotliwości, jakie otrzymuje się przy kolejnym wybieraniu obrazu w systemach o znaczącej liczbie linii. Nowe możliwości wzmacniania sygnałów szerokopasmowych pojawiły się w początkach lat trzydziestych, z chwilą opracowania pentod o znacznym już nachyleniu charakterystyki statycznej (ok.  $4 \div 6$  mA/V). Ponadto do realizacji niezbędnych procesów telewizyjnych przyczynił się też ogólny rozwój elektroniki w tym okresie.

W Polsce, w powstałym w 1935 r. Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym powołano pierwszą naukowo-badawczą i techniczną komórkę telewizyjną przeznaczoną do prowadzenia systematycznych badań nad telewizją. Kierunek ich zależał od stanu i wyników badań w tym zakresie na świecie, a także od istniejących możliwości krajowych. Wprowadzić w tym okresie opracowano już laboratoryjnie i częściowo nawet produkcyjnie lampy analizujące (np. ikonoskop Zworykina czy dyssektor Farnswortha), jednak nie były one w Polsce dostępne.

Natomiast w zakresie reprodukcji obrazu w tym czasie opracowano i produkowano już lampy obrazowe o średnicach ekranu do 12 cali. Różniły się one koncepcyjnie od obecnie stosowanych w telewizji kineskopów elektrostatycznych skupianiem wiązki elektronów i jej odchyleniem. Powodowało to pewne niedogodności, które można było jednak usunąć, wykorzystując istniejące podzespoły (np. tyratrony do odchylenia, których częstotliwość łatwo było synchronizować impulsami wytwarzanymi przy wybieraniu obrazu po stronie nadawczej).

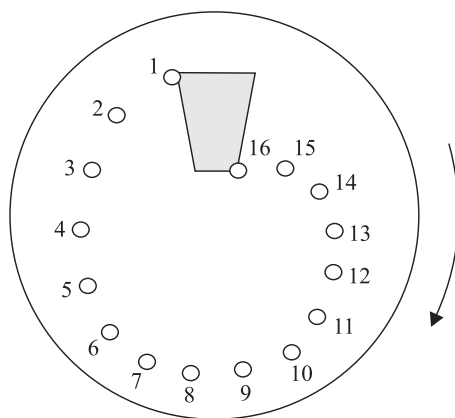


W tych warunkach można więc było prowadzić jedynie badania nad systemami mechaniczno-elektronowymi, w których wybieranie obrazu przy nadawaniu odbywało się za pomocą urządzeń mechanicznych, a reprodukcja odbieranego obrazu mogła następować na ekranie kineskopu. Do analizy obrazu przewidziano tarczę Nipkova i próżniową fotokomórkę cezową. W celu uzyskania dostatecznego strumienia świetlnego padającego na fotokatodę fotokomórki, użyto potężnej lampy łukowej. Gdy na rynku pojawiły się fotopowielacze o dużym wzmacnieniu uzyskiwanym przez emisję wtórną, lampę łukową zastąpiono projekcyjną lampą żarową.

Przy założeniu, że elementem wybierającym jest wirująca tarcza z otworami, liczba linii systemu nie jest zbyt duża. Czynnikiem ograniczającym są rozmiary tarczy: przy nadawaniu 25 obrazów na sekundę tarcza obraca się z prędkością 1500 obr/min. Powiększenie średnicy tarczy wybierającej powoduje nieproporcjonalny wzrost oporu powietrza przy jej wirowaniu i wzrost mocy synchronicznego silnika napędzającego tarczę. Biorąc pod uwagę realne możliwości, wykonano tarczę o średnicy 90 cm dla systemów 90- lub 120-liniowych. Napęd takiej tarczy wymaga jednak silnika o mocy ok. 3 kW.

W Niemczech opracowano tzw. tarczę wielospiralną, o podobnej średnicy, umożliwiającą uzyskanie większej liczby linii proporcjonalnej do liczby spiral, umieszczaną na pompie próżniowej ze względu na wymaganą moc silnika.

Klasyczna tarcza Nipkova ma otwory rozłożone równomiernie na spirali. Nadawany obraz powinien być wówczas rzutowany optycznie na tarczę w taki sposób, aby mieścił się między pierwszym i ostatnim otworem tarczy. Na rys. 4 pokazano to przykładowo dla systemu 16-liniowego.



Rys. 4. Rzutowanie obrazu na tarczę systemu 16-liniowego

Umieszczenie otworów tarczy na spirali powoduje dodatkowe utrudnienia techniczne, gdyż muszą być one rozmieszczone z dużą dokładnością, a zatem wymagają dużej precyzji wykonania.

W oryginalnej tarczy Nipkova przewidziano wiercenie otworów w blasze tarczy, jednakże w 1934 r. P. Mertz i F. Gray opublikowali artykuł dotyczący teorii wybierania, z którego wynikało, że najkorzystniejszy jest kosinusoidalny kształt otworu wybierającego. Najlepszą realizowaną aproksymacją takiego kształtu jest sześciokąt foremny, który można wytlaczać odpowiednio ukształtowanym przebijakiem.

## **Urządzenia telekinomatograficzne**

Przy wykorzystywaniu tarczy wybierającej do analizy obrazu klatki filmowej światło przenikające przez otwór wybierający pada na powierzchnię światłoczułą przyrządu fotoelektronowego. Powoduje to emisję elektronów, proporcjonalną do wielkości strumienia świetlnego i wywołującą spadek napięcia na rezystorze obciążającym przyrząd fotoelektronowy.

W pierwszych próbach używano do tego celu emisyjnej fotokomórki próżniowej, która umożliwiała uzyskiwanie sygnałów wizyjnych szerokopasmowych.

W tym okresie pojawiły się w USA fotoelektronowe powielacze, wykorzystujące emisję wtórną z szeregu kolejnych stopni wzmocnienia wewnętrznego. Miały one duże wzmocnienie prądowe. Zastosowanie takiego powielacza umożliwiło zastąpienie lampy łukowej lampą żarową, używaną w małych projektorach filmowych.

Do wytworzenia ciągu impulsów synchronizujących o znacznie mniejszej szerokości pasma częstotliwości użyto fotokomórki gazowanej o wielokrotnie większej czułości fotoelektronowej niż czułość fotokomórki próżniowej oraz odpowiedniej żarówki, podobnie zresztą jak do odtwarzania dźwięku z taśmy filmowej.

Opracowanie lamp elektronowych o dużym nachyleniu charakterystyki umożliwiło wykonanie wzmacniaczy szerokopasmowych i stworzyło realne możliwości budowy urządzeń telewizyjnych dla systemów o większej liczbie linii.

## **Przesyłanie sygnałów telewizyjnych**

Transmisja sygnałów wizyjnych pomiędzy ich źródłem, a nadajnikiem odbywała się kablami wspólnymi o małej impedancji falowej. Problem stanowiło dopasowanie końcowego stopnia wzmacniacza wizyjnego do impedancji kabla, nie znano bowiem wtórnika katodowego.

Pierwsze nadawcze stacje telewizyjne uruchomiono w USA w 1928 r., ZSRR w 1931 r., Francji w 1932 r., Niemczech w 1935 r. i w Wielkiej Brytanii w 1936 r.

W Polsce pierwsze próby odbioru sygnałów eksperymentalnej stacji telewizyjnej pracującej z przewidywaną anteną podjęto w połowie 1938 r. Aparatura kinematograficzna tej stacji była opracowana przez Państwowy Instytut Telekomunikacyjny, natomiast nadajniki: wizyjny o mocy 1,1 kW, pracujący na częstotliwości 36,8 MHz i foniczny o mocy 0,5 kW, pracujący na częstotliwości 40 MHz zbudowała Polskie Radio.

Antenę nadawczą stacji umieszczono – na znajdującym się na wysokości 60 m – tarasie gmachu Prudentialu. Zasięg nadajnika wizyjnego wynosił ponad 20 km, a nadajnika fonicznego – około 30 km. Na początku 1939 r. stację wyposażono już we właściwą antenę i diplexer.

Wybuch wojny przerwał dalsze prace nad telewizją w Polsce, wznowiono je w 1947 r. W okresie przedwojennym prace dotyczące telewizji w Europie i na świecie szły w kierunku rozwoju systemu całkowicie elektronowego, umożliwiającego zwiększenie liczby analizy. W latach 30. prowadzono również pierwsze próby z telewizją kolorową. Szybki rozwój telewizji nastąpił po II wojnie światowej. Dokonano normalizacji telewizji monochromatycznej. Eksploatowane standardy analogowe telewizji monochromatycznej mają wspólną cechę – wybieranie międzyliniowe, a różnią się liczbą linii wybierania obrazu, częstotliwością powtarzania pół obrazu, szerokością kanału emisyjnego, sposobem modulacji częstotliwości wizji i fonii oraz odległością pomiędzy tymi częstotliwościami.

Wprowadzenie na szeroką skalę telewizji czarno-białej (monochromatycznej) było pierwszym najtrudniejszym krokiem na drodze do wiernego przekazywania obrazów rzeczywistych na odległość. Jednocześnie następowało kolejne doskonalenie technologii elementów elektronicznych, co umożliwiała opracowywanie nowych koncepcji układowych źródeł sygnału telewizyjnego, układów nadawczych, odbiorczych itd.

### **Telewizja kolorowa**

Uzyskany wzrost stabilności i niezawodności układów oraz miniaturyzacja elementów składowych umożliwiły realizację systemów nadawczo-odbiorczych telewizji kolorowej. Umiejętność przesyłania informacji o kolorze nadawanej sceny jest dużym sukcesem technicznym. Korzyść jest dwójakiego rodzaju: zwiększa się liczba przesyłanych informacji użytecznych widz zaś zyskuje nowe dodatkowe środki wyrazu artystycznego. Koncepcja telewizji kolorowej opiera się na tzw. trójbodźcowej teorii widzenia oraz na zmniejszonej zdolności oka do rozróżniania kolorów w zakresie zielony-niebieski-fioletowy. Z trójbodźcowej teorii wynika, że uzyskanie wrażenia większości kolorów spotykanych w przyrodzie jest możliwe przez zmieszanie we właściwych proporcjach odpowiednio wybranych trzech kolorów. Te trzy kolory – czerwony, zielony, niebieski – nazwano kolorami podstawowymi.

Na tej zasadzie oparto syntezę obrazu kolorowego w odbiorniku telewizyjnym. Polega ona na dodawaniu w odbiorniku składowych kolorowych obrazu, wytworzonych po stronie nadawczej w kamerze telewizyjnej za pomocą odpowiedniego rozdziału światła nadawanej sceny na trzy składowe podstawowe: czerwoną, zieloną i niebieską.

Zaistniał problem przesyłania trzech niezależnych informacji o kolorach podstawowych nadawanego obrazu. Przyjęcie jednoczesnego przesyłania trzech informacji o kolorze, według metody stosowanej w telewizji czarno-białej do sygnału wizji i fonii, było niemożliwe, wymagało bowiem stosowania trzech niezależnych nadajników, co powodowało przeszło trzykrotne rozszerzenie zajmowanego pasma częstotliwości. Podobnie szerokiego pasma wymagał system kolejnego przesyłania półobrazów kolorowych. W czasie wprowadzania telewizji kolorowej w USA było w użyciu ok. 30 milionów odbiorników telewizji czarno-białej a przemysł amerykański zaangażował znaczne środki w ich produkcję. Należało zatem powziąć decyzję o takiej transformacji trzech sygnałów podstawowych przed przesłaniem ich do nadajnika, aby został wytworzony jeden całkowity sygnał, spełniający normy telewizyjnego sygnału czarno-białego, lecz niosący ponadto dodatkowe informacje, umożliwiające odzyskanie w odbiorniku telewizji kolorowej trzech sygnałów kolorów podstawowych.

Całkowity sygnał telewizji kolorowej zawiera nie tylko informacje o przestrzennym rozkładzie punktów (luminancji) obrazu, będące odpowiednikiem sygnału telewizji czarno-białej, lecz również informacje o wszystkich cechach kolorymetrycznych obrazu (barwie i nasyceniu) – sygnał chrominancji.

Tym samym stało się możliwe zrealizowanie tzw. warunków odpowiedniości systemu przesyłania telewizji kolorowej, a mianowicie:

- odbioru sygnału telewizji kolorowej przez odbiorniki telewizji czarno-białej jako obrazu czarno-białego,
- odbioru przez odbiorniki telewizji kolorowej telewizyjnego sygnału czarno-białego.

Transformacja trzech sygnałów kolorów podstawowych w jeden sygnał, zwana kodowaniem, została wprowadzona w pierwszym odpowiednim systemie telewizji kolorowej opracowanym w USA, zwanym systemem NTSC. System ten został zatwierdzony i wszedł w życie w 1953 r. Jednakże

pewną przeszkodą w jego rozpowszechnieniu był dość znaczny koszt odbiornika telewizyjnego (trzy-, czterokrotnie większy niż odbiornika czarno-białego) oraz niedostateczna jeszcze wówczas stabilność i niezawodność układów.

Przyjęcie warunku odpowiedniości dla systemu NTSC umożliwiło, po wprowadzeniu niewielkich modyfikacji, na korzystanie ze stosowanej do tej pory sieci linii przesyłowych i nadajników, było więc również korzystne z punktu widzenia ekonomicznego.

Należy jednak stwierdzić, że jakość tych urządzeń nie była najlepsza i w związku z tym sygnał telewizji kolorowej systemu NTSC ulegał dużym zniekształceniom, znacznie pogarszającym jakość obrazu kolorowego.

Przy próbach wprowadzenia systemu NTSC w Europie napotkano te same problemy. Zaczęto więc prowadzić badania nad poszukiwaniem takiego systemu kodowania sygnału telewizji kolorowej, aby zniekształcenia występujące w torze przesyłowym miały jak najmniejszy wpływ na jakość odtwarzanego obrazu kolorowego.

W wyniku prowadzonych prac opracowano – we Francji w 1956 r., przez H. de France'a system SECAM, a w 1962 r. w RFN, przez dr W. Brucha, system PAL. Oba te systemy ulegały kolejnym modyfikacjom.

Ich zasada jest całkowicie zgodna z założeniami systemu NTSC, różnią się jedynie od niego i od siebie innym sposobem formowania i wykorzystywania sygnału chrominancji.

Podczas międzynarodowej konferencji CCIR w Oslo w 1966 r. – wbrew powszechnemu dążeniu do wyboru jednolitego światowego systemu telewizji kolorowej – przy wyborze systemu telewizji kolorowej dla Europy nie doszło do porozumienia i nastąpił podział. W wyniku tego część krajów przyjęła system SECAM, a część PAL. Po 1966 r. następuje szybki rozwój telewizji kolorowej.

Należy jednak zauważyć, że telewizja kolorowa jest tylko następnym etapem rozwoju po telewizji czarno-białej, etapem przejściowym na drodze do wiernego przekazywania obrazu rzeczywistego w telewizji integralnej, tzn. kolorowej i przestrzennej.

### ***Telewizja trójwymiarowa***

Telewizja trójwymiarowa może zapewnić znacznie większą liczbę informacji o odtwarzanym obrazie niż odbiór dwuwymiarowy (konwencjonalny).

Polega ona na oglądaniu dwóch obrazów (tzw. pary stereoskopowej), przeznaczonych odpowiednio dla lewego i prawego oka. Każde oko widzi obserwowany obiekt z nieco innej perspektywy. Na siatkówce każdego oka powstają nieco inne obrazy tego samego obiektu, co mózg interpretuje jako odczucie przestrzenności (trójwymiarowości). Innymi słowy: para stereoskopowa obrazów rejestrowanych pod różnymi kątami przekazywana odpowiednio do lewego i prawego oka, umożliwia trójwymiarowy (3D) odbiór oglądanej sceny i tym samym zwiększenie realności odbieranego obrazu telewizyjnego. Wrażenie głębi obrazu jest dodatkowo powiększane dzięki akomodacji oczu do przyjęcia właściwej zbieżności kierunków patrzenia.

Na prawidłowe odtworzenie obrazu trójwymiarowego mają wpływ:

- odstęp między oczami,
- wielkość i wzajemne położenie półobrazów,
- wierne odtworzenie wszystkich szczegółów każdego półobrazu.

Jednakże przy średnim odstępnie pomiędzy oczami (ok. 65 mm) przy odtwarzaniu większych obiektów istnieje możliwość zachodzenia na siebie półobrazów. Jest więc niezbędne zastosowanie odpowiednich środków zapewniających oddzielne udostępnienie półobrazu lewego – lewemu oku, a półobrazu prawego – prawemu oku.

Pierwotne metody umożliwiające przestrzenny odbiór obrazu telewizyjnego polegały na stosowaniu:

- filtrów barwnych,
- dwóch różnych polaryzacji światła,
- różnego skierowania promieni świetlnych, lewego i prawego za pomocą pryzmatów,
- specjalnego prążkowanego rastra optycznego,
- przeplatania czasowego półobrazów.

W obecnych rozwiązaniach telewizji trójwymiarowej stosuje się co najmniej dwie kamery umieszczone w ściśle ustalonym położeniu.

Uzyskiwane w kamerach obrazy są dwuwymiarowe (2D). Obrazy trójwymiarowe (3D) otrzymuje się z obrazów dwuwymiarowych z uwzględnieniem ruchu. W tym przypadku ważną rolę odgrywa ocena zgodności par obrazów.

Przesyłanie sygnałów telewizji trójwymiarowej wymaga przekazania dwu sygnałów, odpowiadających odpowiednio lewemu i prawemu półobrazowi. Powoduje to konieczność korzystania z dwóch torów przesyłowych albo wykorzystywania torów przesyłowych o dużej szerokości przenoszonego pasma częstotliwości.

Rozwiązaniem tego problemu jest cyfryzacja sygnałów wizyjnych i znaczne zmniejszenie szybkości transmisji danych przez zastosowanie efektywnych metod kodowania. Algorytmy kodowania półobrazów wykorzystują redundancję informacji w kolejnych obrazach oraz w lewym i prawym półobrazie.

Na obecnym etapie rozwoju techniki telewizyjnej nie uzyskano jeszcze zadowalającego rozwiązania problemu trójwymiarowego odtwarzania obrazów telewizyjnych. Najbardziej krytyczna jest tu synteza obrazu, niezbędna do jego odtwarzania i stworzenia warunków obserwacji obrazów przestrzennych. Oczywiście nie można narzucić widzowi niezmienną pozycję przy oglądaniu obrazu i konieczności używania okularów. Ponadto należy zapewnić odpowiednią jakość odtwarzanych obrazów i możliwość jednoczesnego oglądania ich z efektem stereoskopowym, nie tylko przez jedną osobę. Dopiero wyprodukowanie odbiorników stereoskopowych praktycznych w użyciu i dostępnych cenowo dla przeciętnego użytkownika umożliwi szybkie rozpowszechnienie telewizji trójwymiarowej. Można tego oczekiwać w początkach XXI wieku, w ślad za rozpowszechnieniem się systemów telewizji cyfrowej i wielkowymiarowych płaskich ekranów telewizyjnych.

## ***Telewizja cyfrowa***

Jednym z najważniejszych wyzwań w sferze elektronicznych środków przekazu jest wprowadzenie telewizji cyfrowej. Całkowita cyfryzacja telewizji stanowi rewolucję w technice telewizyjnej podobną do tej, którą było przed wielu laty wprowadzenie telewizji kolorowej, a może nawet większą. Stwarza ona również możliwości realizacji nowych usług, takich jak telewizja interaktywna oraz usług multimedialnych w telewizji. Są to możliwości, które praktycznie mogą być zrealizowane do końca pierwszej dekady XXI wieku.

Podjęcie działań związanych z wprowadzeniem telewizji cyfrowej było konieczne również w Polsce, ponieważ:

- wprowadzenie telewizji cyfrowej jest elementem nieuchronnej, powszechnej zmiany cywilizacyjnej, prowadzącej do rozwoju tzw. społeczeństwa informacyjnego;
- harmonijny rozwój telewizji cyfrowej leży w interesie widzów; daje większą możliwość wyboru programów i lepszą jakość odbioru; służy realizacji prawa do informacji;
- telewizja cyfrowa powinna być elementem wzrostu gospodarczego; może sprzyjać powstawaniu nowych miejsc pracy, rozwojowi przedsiębiorczości w sektorze audiowizualnym, produkcji nowych dóbr własności intelektualnej;
- telewizja cyfrowa to lepsze wykorzystanie widma częstotliwości, związane ze znacznym zwiększeniem sumy wpływów do Skarbu Państwa z tytułu jego wykorzystania oraz z tytułu opłat związanych z prowadzeniem działalności w sferze radiofonii i telewizji oraz telekomunikacji multimedialnej;
- państwa europejskie (Wielka Brytania, Niemcy, Hiszpania, Szwecja) realizują wieloetapowe programy wprowadzania telewizji cyfrowej i brak dostosowania warunków prowadzenia działalności na polskim rynku medialnym do zmian technologicznych grozi spadkiem znaczenia krajowych regulatorów, nadawców i operatorów i powiększy zjawisko adresowania usług medialnych do polskich widzów – z zagranicy;

Trzeba jednak pamiętać, że technika cyfrowa w mediach, w tym w telewizji, to także zagrożenia, takie jak:

- niekontrolowane rozpowszechnianie treści szkodliwych dla małoletnich (w szczególności pornografii i nie uzasadnionego ekspozowania przemocy), postaw i poglądów sprzecznych z prawem, moralnością i dobrem społecznym (w tym nietolerancji i rasizmu),
- tendencje do koncentracji środków przekazu, zagrażające ich pluralizmowi,
- zanik obecności kultury krajowej, lokalnej i regionalnej w środkach przekazu.

Wprowadzenie techniki cyfrowej do telewizji rozpoczęto od ośrodków studyjnych. W początku lat osiemdziesiątych przyjęto dla nich ogólnosiwiatowe (tj. dla systemów analizy obrazu zarówno 525/60 jak i 625/50) standardy telewizji cyfrowej – standard kodowania oraz parametry interfejsów szeregowego i równoległego. Początek lat dziewięćdziesiątych to bardzo szybki rozwój systemów emisyjnych. Nie przyjęto wprawdzie ogólnosiwiatowego systemu emisyjnego, osiągnięto jednak w ramach Międzynarodowej Unii Telekomunikacyjnej (ITU) wiele porozumień dotyczących kodowania źródłowego oraz emisji sygnałów przez nadajniki naziemne.

W Europie systemy emisyjne telewizji cyfrowej tj. telewizji naziemnej, satelitarnej i kablowej zostały opracowane i znormalizowane w ramach projektu DVB (*Digital Video Broadcasting*).

Opracowanie jednakowego systemu dla różnych środków przesyłowych było praktycznie niemożliwe, istnieją bowiem różnice pomiędzy potrzebami i wymaganiami, wynikające ze specyfiki mediów transmisyjnych.

W przypadku systemów ziemskich założono, że kanały częstotliwościowe, w których emituje się sygnały telewizji cyfrowej, są identyczne z przyjętym dla telewizji analogowej, a więc w Europie dla IV i V zakresu częstotliwości mają one szerokość 8 MHz. W systemach tych jest wymagana stosunkowo duża moc emitowana. Są one ponadto wrażliwe na odbiór wielodrożny.

Systemy satelitarne umożliwiają wykorzystanie stosunkowo szerokiego pasma częstotliwości oraz mniejszej mocy. Występują w nich znaczne szумы, są mało wrażliwe na odbiór wielodrożny. Kanały telewizji kablowej mają tradycyjnie taką szerokość jak kanały naziemne oraz małe szумы, natomiast różnią się rozwiązaniem, budową i zasięgiem.

Założono więc opracowanie systemu, który miałby możliwie najwięcej elementów wspólnych we wszystkich środkach transmisji, tj. przyjęcie jednakowej metody kodowania źródłowego i systemu zwielokrotniania sygnałów, a także zabezpieczania transmisji przed skutkami błędów cyfrowych pierwszego stopnia oraz specyficznego dla danego środka transmisji kodowania kanałowego i systemu modulacji. Przyjęto zatem, że powyższe trzy systemy: naziemny, satelitarny i kablowy wykorzystują system kodowania sygnałów wizyjnych i fonicznych według standardu MPEG-2 (*Moving Picture Expert Group*) i strukturę zwielokrotniania MPEG-2 TS, jak również te same metody korekcji błędów pierwszego stopnia (kod Reeda Solomona i przeplatanie danych), natomiast metody kodowania kanałowego i modulacji są różne.

W systemach satelitarnych przewiduje się stosowanie modulacji QPSK, czyli kwadraturowego kluczkowania z przesunięciem fazy lub 8 QPSK, w systemach kablowych 16-, 32- lub 64-poziomową kwadraturową modulację amplitudowo-fazową QAM, a w systemach naziemnych ortogonalne zwielokrotnianie z podziałem częstotliwości OFDM.

Pełna cyfryzacja systemów telewizyjnych jest procesem nieodwracalnym i nieuchronnym. Jednakże przejście od telewizji analogowej do telewizji cyfrowej jest procesem długotrwałym.

### ***Telewizja o podwyższonej jakości i większej rozdzielczości obrazu***

W okresie przejściowym podejmowano wiele prób poprawienia jakości odbieranego przez widzów obrazu i dźwięku.

Analogowe systemy telewizji kolorowej (NTSC, SECAM i PAL) powstały w końcu lat sześćdziesiątych przy założeniu kompatybilności z przyjętymi standardami istniejących wówczas systemów telewizji monochromatycznej. Odpowiadały one w zasadzie ówczesnemu poziomowi techniki i technologii telewizji. Założenie kompatybilności systemów narzuciło szereg ograniczeń dla systemu telewizji kolorowej, głównie dotyczących pasma częstotliwości sygnałów luminancji i chrominancji. Uzyskiwana w związku z tym jakość odtwarzanego obrazu kolorowego stała się dla widzów już niewystarczająca. Powstały więc propozycje telewizji o tzw. podwyższonej jakości. Dotyczyły one przede wszystkim rozszerzonej telewizji satelitarnej nadawanej z satelitów geostacjonarnych bezpośrednio do odbiorców indywidualnych.

W analogowych systemach telewizji satelitarnej ze względów energetycznych jest stosowana modulacja częstotliwości fali nośnej. Ten rodzaj modulacji charakteryzuje się parabolicznym wzrostem gęstości mocy szumu wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału. Powoduje to w przypadku przesyłania całkowitego sygnału telewizji kolorowej systemu SECAM, PAL lub NTSC znacznie większy wpływ szumu w zakresie częstotliwości sygnałów chrominancji niż w zakresie częstotliwości sygnału luminancji.

Niezależnie od tego systemy telewizji kolorowej (NTSC, SECAM i PAL) mają szereg istotnych wad:

- ograniczenie rozdzielczości poziomej obrazu wskutek ograniczenia pasma częstotliwości sygnałów luminancji i chrominancji przez umieszczenie sygnału chrominancji (o ograniczonym pasmie) w górnej części widma sygnału luminancji,

- ograniczenie rozdzielczości pionowej przez wybieranie międzyliniowe,
- powstanie intermodulacji sygnałów luminancji i chrominancji (zależność sygnału luminancji od poziomu sygnału chrominancji i zależność sygnału chrominancji od sygnału luminancji, czyli tzw. zniekształcenia różnicowe).

Dążąc do poprawienia jakości odtwarzanych obrazów opracowano koncepcję systemu o niezależnej transmisji sygnałów składowych telewizji kolorowej z ich kompresją i zwielokrotnieniem w czasie. System ten, a właściwie rodzina systemów zwanych MAC<sup>①</sup>, został w 1983 r. zaproponowany przez Europejską Unię Radiodiffuzyjną początkowo dla radiodiffuzji satelitarnej, a następnie również dla rozprowadzenia w sieciach telewizji kablowej.

Zasada działania systemów MAC polega na niezależnej transmisji składowych sygnału telewizji kolorowej, to jest sygnału luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu, z ich kompresją i zwielokrotnieniem w czasie (z wyjątkiem tzw. systemu A-MAC, w którym jest stosowane zwielokrotnienie częstotliwościowe), zamiast transmisji sygnału całkowitego NTSC, SECAM lub PAL. Sygnały dźwięku i danych są w tych systemach przesyłane w postaci cyfrowej i zwielokrotnione z analogowymi sygnałami wizyjnymi. Zachowano przy tym dotychczasową, liniową strukturę sygnału wizyjnego oraz wybieranie międzyliniowe.

System taki ma w porównaniu z systemami konwencjonalnymi następujące zalety:

- brak intermodulacji sygnałów luminancji i chrominacji,
- brak intermodulacji podnośnej chrominancji z sygnałami dźwięku i harmonicznymi sygnałów synchronizacji linii wybierania,
- polepszenie właściwości szumowych systemów, wskutek przeniesienia sygnału chrominancji w pasmo małych częstotliwości,
- zwiększenie rozdzielczości poziomej luminancji i chrominancji,
- bardziej efektywne wykorzystanie kanału transmisyjnego, dzięki możliwości przesłania łącznie z sygnałem wizyjnym kilku sygnałów dźwięku oraz sygnałów innych służb (sygnałów danych, teletekstu),
- możliwość zmiany okresów przesyłania sygnałów wizyjnych, dźwięku i danych w granicach linii wybierania,
- możliwość wykorzystania okresu wygaszania pola obrazu do przesyłania dodatkowych sygnałów,
- możliwość szyfrowania sygnału,
- możliwość uzyskania obrazów o większej rozdzielczości i zwiększonych wymiarach.

Opracowano kilka wariantów systemu MAC oznaczonych literami A, B, C i D, tzn. systemów A-MAC, B-MAC, C-MAC, D-MAC oraz D2-MAC. Ogólna zasada pracy wszystkich tych wariantów jest taka sama. Również identyczna jest zasada transmisji sygnałów wizyjnych z sygnałami dźwięku i danych, modulacji fali nośnej, a także metoda kodowania dźwięku.

W systemach A-MAC stosuje się zwielokrotnianie częstotliwościowe sygnałów wizyjnych z sygnałami dźwięku i danych w pasmie podstawowym. Wszystkie warianty systemów A-MAC wykazują zasadnicze niedopasowanie do własności fizycznych transmisyjnego toru satelitarne. Charakteryzują

<sup>①</sup> *Multiplexed Analogue Component.*



się niewielką mocą nadawaną oraz szerokim widmem częstotliwości sygnałów zmodulowanych częstotliwościowo.

W systemach B-MAC stosuje się zwielokrotnienie czasowe w pasmie podstawowym analogowych sygnałów wizyjnych z cyfrowymi sygnałami dźwięku i danych. Tak ukształtowane sygnały są następnie przesyłane z modulacją częstotliwościową. System B-MAC został opracowany w dwóch wersjach dla standardów 625/50 oraz 525/60. Obydwie wersje są przystosowane do transmisji satelitarnej w pasmie 12 GHz, przy wykorzystaniu kanałów 27 MHz lub 24 MHz. System ten znalazł zastosowanie w USA, Kanadzie i Australii.

W systemie C-MAC stosuje się zwielokrotnienie czasowe w pasmie częstotliwości pośrednich przy zastosowaniu dwóch sygnałów nośnych: jednego, modulowanego częstotliwościowo analogowym sygnałem wizyjnym, i drugiego, modulowanego z 2- lub 4-wartościowym kluczowanym przesuwem fazy (2 lub 4 PSK) z cyfrowym sygnałem dźwięków i danych.

Przesłanie różnych sygnałów dźwięku i danych w postaci jednego cyfrowego strumienia informacji jest możliwe w formie tzw. zwielokrotnienia pakietowego. Stąd nazwa – pakietowy system C-MAC. System ten, zaproponowany dla rozsiewczej transmisji satelitarnej standardu 625/50, spełnia wszystkie wymagania tego środka transmisji. Zapewnia on także lepszą niż w systemach konwencjonalnych jakość odtwarzanych obrazów oraz dużą przepływność strumienia cyfrowych sygnału dźwięków i danych (3 Mbit/s).

Dalsze badania doprowadziły do nowych wersji systemu, tzw. systemów D-MAC (dla standardu 625/50), w których stosuje się zwielokrotnienie czasowe w pasmie podstawowym analogowych sygnałów wizyjnych z cyfrowymi sygnałami dźwięku i danych oraz stosuje się specjalne metody kodowania cyfrowego.

Pierwszym z tego rodzaju systemów był pakietowy system D-MAC, analogiczny do pakietowego systemu C-MAC, z tą różnicą, że dźwięk i dane w tym systemie są kodowane duobinarnie, a zwielokrotnianie następuje w pasmie podstawowym. Jest to system dostosowany do transmisji w sieciach kablowych o szerokości kanału nie mniejszej niż 10,5 MHz. Ponieważ jednak większość sieci telewizji kablowej ma szerokość kanału równą 7 lub 8 MHz, a pożądane jest przesyłanie sygnałów satelitarnych bezpośrednio do abonentów bez transkodowania, powstała więc nowa wersja systemu, tzw. pakietowy system D<sub>2</sub>-MAC, różniącą się od pakietowego systemu D-MAC, zmniejszoną do połowy prędkością bitową sygnału cyfrowego, wskutek ograniczenia liczby przesyłanych informacji. W tym systemie, w celu dopasowania go do sieci kablowych o szerokości kanału transmisyjnego 7 lub 8 MHz, zawęża się pasmo częstotliwości sygnałów składowych telewizji kolorowej. Wpływa to na zmniejszenie rozdzielczości poziomej odtworzonego obrazu.

Kolejne próby poprawy jakości odtwarzanych obrazów obejmowały tzw. systemy o podwyższonej jakości oraz system o powiększonej rozdzielczości obrazu. W efekcie doprowadziły one do koncepcji systemów telewizyjnych o bardzo dużej rozdzielczości obrazu.

Systemami podwyższonej jakości obrazu były systemy 625/50- i 525/60-liniowe, z zachowaniem standardowego współczynnika kształtu 4:3 oraz wykorzystywaniem dotychczasowych lub nowych standardów emisji.

Zakłada się, że zwiększenie jakości odtwarzanych obrazów telewizyjnych będzie można uzyskać przez eliminację niekorzystnych procesów stosowanych w konwencjonalnych systemach telewizyjnych oraz przez wprowadzanie specjalnej obróbki sygnałów wizyjnych.

Obecnie poprawę jakości obrazu uzyskuje się przez stosowanie następujących procesów:

- przeplatanie w procesie wybierania,
- zlikwidowanie intermodulacji sygnałów luminancji i chrominancji,
- możliwości odpowiedniego przekształcania (obróbki) sygnału,
- ograniczenie powstawania zniekształceń nieliniarnych oraz interferencyjnych w magnetowidach,
- zwiększenie odporności sygnałów telewizyjnych na zakłócenia transmisyjne,
- polepszenie metod dekodowania sygnałów wizyjnych,
- różnych sposobów odchyłania w odbiornikach.

W konwencjonalnych systemach telewizji kolorowej NTSC, SECAM i PAL poprawę jakości sygnału, a tym samym i jakości odtwarzanego obrazu, uzyskuje się zarówno po stronie nadawczej (w kamerach telewizyjnych), jak i po stronie odbiorczej (w odbiornikach).

W odbiornikach telewizyjnych proponowano:

- w systemie NTSC (znacznie rzadziej w systemie PAL) zastosowanie filtrów grzebieniowych w celu zmniejszenia intermodulacji sygnałów luminancji i chrominancji i zwiększenia rozdzielczości poziomej sygnału luminancji,
- zastosowanie wielowymiarowych filtrów separujących opartych na układach pamięci linii i pola obrazu, umożliwiających znaczne zmniejszenie rozdzielczości poziomej obrazów stałych,
- zastosowanie pamięci obrazu, umożliwiającej separację sygnałów luminancji i chrominancji z kompensacją ruchu,
- zastosowanie układów pamięci pola obrazu i podwojenie liczby odtwarzanych linii wybierania drogą interpolacji,
- zastosowanie w odbiornikach cyfrowych ograniczników szumu.

Istotne zwiększenie jakości odtwarzanych obrazów można uzyskać przez wstępną obróbkę sygnałów w kamerze w celu dodatkowego zmniejszenia szkodliwych efektów wybierania międzyliniowego. Przykładami takiej obróbki sygnałów są:

- zastosowanie wybierania kolejnoliniowego w kamerze, dzięki czemu unika się migotania międzyliniowego, zwiększa współczynnik odtwarzania, tzw. współczynnik Kella i umożliwia trójwymiarową filtrację, a następnie – przez zastosowanie układów pamięci pola obrazu - przejście na wybieranie międzyliniowe,
- zastosowanie wybierania międzyliniowego z podwójną liczbą linii, zapamiętanie ich i odpowiednia wielowymiarowa filtracja, a następnie przesyłanie podwójnej lub pojedynczej liczby linii przyjętej w standardzie.

Przez pojęcie „systemy o powiększonej rozdzielczości obrazu” rozumiano nowe systemy oparte na standardach 625/50 i 525/60 o większym współczynniku kształtu i większej rozdzielczości odtwarzanego obrazu.

W Europie prace nad systemem o podwyższonej jakości obrazu (rozpoczęte w 1988 r.) doprowadziły do opracowania systemu PAL Plus, kompatybilnego z systemem PAL, zapewniającego jednocześnie

zwiększenie współczynnika kształtu i lepszą jakość obrazu. W systemie tym obrazy są wytwarzane dla odbiorników z ekranem o formacie 16:9. Kompatybilność z systemem konwencjonalnym (obserwacja na odbiorniku o formacie 4:3) uzyskuje się tzw. metodą „letterbox” (skrzynka pocztowa). Na ekranie 4:3 jest obserwowany cały obraz, ale przekazywany za pomocą mniejszej liczby linii, czyli o zmniejszonej rozdzielczości pionowej. Na dole i u góry ekranu występują czarne pasy.

Poprawę jakości obrazu w systemie PAL Plus, polegającą na przekazywaniu większej liczby szczegółów oraz eliminacji prześwitów pomiędzy sygnałami luminancji i chrominancji, uzyskuje się przez zastosowanie specjalnych cyfrowych filtrów trójwymiarowych w nadajniku oraz odbiorniku. Umożliwia to rozdzielenie sygnałów luminancji i chrominancji oraz przesyłanie pełnego pasma sygnału luminancji dla obrazów statycznych oraz obrazów z niewielkim ruchem. Dodatkowe informacje o rozdzielczości poziomej są przekazywane również w czasie przesyłania „opuszczonych” 144 linii zwielokrotnione czasowo z informacjami przesyłanymi na tych liniach.

Systemy telewizji o powiększonej rozdzielczości i zwiększonych rozmiarach obrazu stanowią pierwszy krok do następnego stopnia rozwoju techniki telewizyjnej, tj. telewizji o dużej rozdzielczości obrazu. Telewizji, umożliwiającej oglądanie obrazów o około trzykrotnie większych rozmiarach i rozdzielczości obrazu zbliżonej do tej, z jaką człowiek o dobrym wzroku widzi oryginalny obraz.

System taki wymaga spełnienia nowych warunków w porównaniu z systemami konwencjonalnymi, musi zapewniać uzyskanie w obrazie odtwarzanym:

- blisko dwukrotnie większą rozdzielczość w kierunkach poziomym i pionowym niż rozdzielczość, którą zapewniają parametry techniczne przyjęte dla cyfrowych studiów telewizyjnych,
- znacznie większą rozdzielczość czasową niż ww. rozdzielczość bez znacznego wzrostu kosztów,
- większą rozdzielczość dla obiektów kolorowych niezbędną do uzyskania wysokiej ogólnej jakości obrazu,
- lepsze odtwarzanie ruchu,
- lepsze postrzeganie głębi w obrazie,
- niezależne przesyłanie sygnałów luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu; jest to niezbędne do uzyskania dobrej jakości obrazu,
- większy współczynnik kształtu obrazu,
- wielokanałowy dźwięk wysokiej jakości.

Parametry techniczne standardu telewizji o dużej rozdzielczości rozpatrywano w świecie z dwóch punktów widzenia:

- jako ulepszony system, który ma umożliwić widzom lepszą percepcję obrazu,
- jako uniwersalne dane do produkcji, nie tylko programów telewizyjnych, ale również kaset, płyt oraz filmów telewizyjnych i kinowych.

Prace badawcze nad systemem telewizji o dużej rozdzielczości prowadzono przede wszystkim w Japonii. W wyniku tych prac, w 1986 r. określono podstawowe parametry standardu dla systemu 60 pól obrazu na sekundę. Australia i większość krajów europejskich zgłosiły szereg zastrzeżeń do proponowanego systemu. Najpoważniejszym zastrzeżeniem była obawa, że przy stosowanej w Europie częstotliwości sieci energetycznej 50 Hz może powstawać sygnał zakłócający obraz

o częstotliwości 20 Hz, w szczególności przy oświetlaniu sceny nadawanej luminescencyjnymi źródłami światła. Zastrzeżenia budził brak kompatybilności pomiędzy proponowanym standardem telewizji o dużej rozdzielczości i standardem telewizji cyfrowej, również brak bezpośredniej kompatybilności z eksploatowanymi obecnie w wielu krajach systemami PAL i SECAM. W związku z powyższym w 1986 r. powstał projekt kompatybilnego systemu telewizji o dużej rozdzielczości Eureka 95 oznaczonego jako EU 95, którego celem było opracowanie systemu dla 50 pól obrazu na sekundę.

Opracowanie ogólnoswiatowego systemu analogowego okazało się niemożliwe z uwagi na:

- argumenty techniczne wysuwane przez autorów obu dominujących koncepcji standardu,
- rywalizację między firmami europejskimi i japońskimi,
- stanowiska reprezentowane przez poszczególne administracje i lobby gospodarcze.

Wprowadzenie techniki cyfrowej do telewizji umożliwiło opracowanie systemów o dużej rozdzielczości uzupełnianych cyfrowo, polegających na przesyłaniu tym samym torem dwóch rodzajów sygnałów:

- informacji analogowej stanowiącej sygnał obrazu po odpowiedniej obróbce wstępnej,
- informacji cyfrowej, dodatkowej, która może być wykorzystywana przez przystosowane do tego celu odbiorniki do wyświetlania obrazu o dużej rozdzielczości.

W systemie tym podstawowa obróbka obrazu następuje po stronie nadawczej. Tam też można stosować najnowocześniejsze metody obróbki, a także metody skomplikowane, np. określania wektorów ruchu, czy wydzielenia ruchomych powierzchni. Informacje te mogą być wykorzystywane w odbiorniku bądź w pełni, bądź w ograniczonym zakresie, zależnie od stopnia złożoności odbiornika. Mogą być też w ogóle niewykorzystywane w przypadku odbiorników systemów konwencjonalnych.

Rozwój systemów telewizji o dużej rozdzielczości jest możliwy jednak dopiero po pełnej cyfryzacji sygnałów.

Przyjęty system kodowania cyfrowego – standard MPEG określa metodę kodowania sygnałów wizyjnych i towarzyszących im dźwięków (MUSICAM), pozwalającą na zmniejszenie prędkości bitowej cyfrowego sygnału do około 5 Mbit/s przy zachowaniu sygnału o jakości uzyskiwanej dla systemu PAL, a przy zachowaniu jakości standardu studyjnego 4:2:2 do 9 Mbit/s. Dla sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu (HDTV) prędkość bitowa jest równa około 20 Mbit/s. Ponieważ pojemność standardowego telewizyjnego kanału transmisyjnego przy zastosowaniu modulacji cyfrowej wynosi, w zależności od metody modulacji i stopnia zabezpieczenia przed błędami transmisji, 20 ÷ 40 Mbit/s, w kanale, w którym dotychczas przesyłano jeden program telewizyjny, można będzie przesyłać jednocześnie kilka programów standardowej rozdzielczości lub jeden do dwóch programów o dużej rozdzielczości.

W standardzie MPEG-2 wskutek zastosowania hierarchicznej organizacji sygnału, jest możliwe np. przesyłanie w jednej sekwencji programu o konwencjonalnej rozdzielczości, a w drugiej stanowiącej uzupełnienie pierwszej, przesyłanie tego samego programu o dużej rozdzielczości.

W ten sposób ten sam program mógłby być odbierany zarówno przez konwencjonalne odbiorniki telewizyjne (oczywiście wyposażone w dekodery MPEG), jak i odbiorniki HDTV. Inny sposób wykorzystania tej możliwości to przesyłanie w ramach jednej sekwencji programu o niższej jakości (większym stopniu kompresji), ale z dodatkowym zabezpieczeniem przed błędami transmisji, a w sekwencji uzupełniającej przesyłanie tego samego programu o normalnej jakości, bez zabezpieczenia

przed błędami. W przypadku emisji ziemskich wyeliminowało by to charakterystyczny dla systemów cyfrowych gwałtowny zanik odbiorów na granicy obszaru zasięgu. W obszarach położonych bliżej nadajnika odbiornik korzystałby z sekwencji o wyższej jakości, a w obszarach położonych dalej z sekwencji zabezpieczonej przed przekłamaniami. Należy jednak zwrócić uwagę, że metoda kompresji stosowana w standardzie MPEG-2 jest metodą nieodwracalną, tzn. że powoduje pewne zniekształcenia obrazu. O tym, czy zniekształcenia obrazu są zauważalne decyduje przede wszystkim konstrukcja kodaera i dekodera.

### ***Telewizja satelitarna***

Trendy rozwojowe telewizji obejmowały nie tylko zagadnienia systemowe, lecz również problemy radiodyfuzji. Tradycyjne systemy radiodyfuzyjne jak wiadomo nie zapewniają pełnego pokrycia kraju programem telewizyjnym i radiofonicznym.

W połowie lat sześćdziesiątych powstał pomysł nadawania programów radiowych i telewizyjnych za pomocą nadajników umieszczonych na sztucznych satelitach Ziemi z przeznaczeniem do indywidualnego odbioru – radiodyfuzja satelitarna.

Telewizja satelitarna przekazuje programy telewizyjne za pośrednictwem nadajników umieszczonych na sztucznych satelitach Ziemi. Zasadniczą korzyścią wynikającą z umieszczenia nadajnika telewizyjnego na pokładzie satelity jest natychmiastowe 100-procentowe pokrycie obsługiwanego obszaru. Warunki odbioru sygnałów z satelity są, praktycznie biorąc, jednakowe w każdym punkcie tego obszaru, znacznie lepsze niż podczas odbioru sygnałów emitowanych przez naziemne nadajniki telewizyjne. Satelity telekomunikacyjne stosuje się do przekazywania programów telewizyjnych między ośrodkami nadawczymi od początku powstania telekomunikacji satelitarnej. Obecnie używane są również do przesyłania sygnałów telewizyjnych do stacji głównych telewizji kablowej oraz bezpośredniego odbioru przez indywidualnego użytkownika.

Satelity są wykorzystywane głównie do transmisji sygnałów telewizji analogowej. Sygnał wizyjny wraz z sygnałem fonicznym zmodulowanym częstotliwościowo modulują łącznie częstotliwość sygnału nośnego leżącą w zakresie SHF. Szerokość pasma sygnału zmodulowanego wynosi 27 MHz. Dzięki zastosowaniu modulacji częstotliwościowej ulega zmniejszeniu – w porównaniu z modulacją amplitudy stosowaną w systemach naziemnych – wartość stosunku mocy sygnału do mocy szumu na wejściu odbiornika zapewniająca dobrą jakość obrazu i dźwięku. W praktyce oznacza to, że można stosować anteny odbiorcze o mniejszej średnicy.

Zakres częstotliwości 10 700 GHz do 12 750 GHz jest natomiast wykorzystywany do cyfrowej radiodyfuzji satelitarnej. Opracowany plan rozdziału kanałów w tym zakresie zapewnia nie tylko wewnętrzną kompatybilność systemów radiodyfuzji satelitarnej, ale także eliminuje zakłócenia interferencyjne innych służb wykorzystujących ten sam zakres częstotliwości.

### ***Telewizja kablowa***

Ostatnie dziesięciolecie przyniosły bardzo szybki rozwój różnych form sieci przewodowych służących do rozsyłania programów telewizyjnych. U podstaw tego rozwoju leży dążenie do poprawy warunków odbioru programów telewizyjnych oraz zwiększenie liczby odbieranych programów. Dzięki przesyłaniu programu telewizyjnego drogą przewodową unika się zakłóceń pojawiających się przy propagacji fal radiowych w wolnej przestrzeni, np. zakłóceń atmosferycznych, zakłóceń ze strony innych nadajników radiowych, zakłóceń przemysłowych, odbić sygnału dających zjawisko odbioru wielodrogowego oraz

zaników sygnału w strefach cienia, występujących przy wysokiej zabudowie miejskiej. Wykorzystanie szerokiego pasma częstotliwości linii przewodowych (obecnie współosiowych a w przyszłości światłowodowych) umożliwia nie tylko rozsyłanie znacznie większej liczby programów telewizyjnych i radiofonicznych, niż jest to możliwe drogą radiową, lecz również wielu innych rodzajów informacji. Najstarszymi i najprostszymi odbiorczymi systemami antenowymi były tzw. antenowe instalacje zbiorowe (AIZ) obsługujące kilkudziesięciu abonentów (zamieszkałych przeważnie w jednym budynku) lub abonentów zamieszkałych w kilku budynkach sąsiadujących ze sobą. Są to systemy jednokierunkowe rozprowadzające programy telewizyjne odbierane w danym rejonie oraz programy radiofoniczne fal długich, średnich, krótkich i ultrakrótkich.

Następnie pojawiły się wielkie antenowe instalacje zbiorowe (WAIZ) obsługujące tysiące abonentów i obejmujące duże osiedla mieszkaniowe, małe miasta i dzielnice wielkich miast. Są to również systemy jednokierunkowe, lecz charakteryzujące się szerszymi możliwościami niż AIZ. Zapewniają rozprowadzanie kilku programów telewizyjnych, w tym również programu telewizji satelitarnej oraz ewentualnie programu z lokalnego studia telewizyjnego jak również kilku programów radiofonicznych. Podstawową cechą tych systemów jest szerokie pasmo częstotliwości, obejmujące wszystkie kanały telewizyjne zakresu fal metrowych, a więc łącznie ok. 250 MHz.

Dalszym etapem rozwoju rozsyłania kablowego jest telewizja kablowa stanowiąca dwukierunkowe systemy transmisyjne. W systemach tych stosuje się szerokopasmową transmisję odbieranych sygnałów ze zwielokrotnieniem częstotliwościowym.

Podstawową cechą tych systemów w porównaniu z wielkimi antenowymi instalacjami zbiorowymi jest ich dwukierunkowość, przy czym na obecnym etapie dopuszcza się również transmisję jednokierunkową sygnałów. Obecne systemy telewizji kablowej są systemami analogowymi pracującymi ze zwielokrotnieniem częstotliwościowym sygnałów, natomiast systemy cyfrowe – mimo, że zostały już znormalizowane – są ciągle jeszcze w fazie eksperymentów.

Systemy telewizji kablowej przenoszą w kierunku do abonenta sygnały zawarte w pasmie częstotliwości 5 MHz do 862 MHz z wyłączeniem kanałów telewizyjnych 1, 2, 3, 4 i 5. Dolna częstotliwość graniczna pasma podstawowego zależy od szerokości pasma częstotliwości kanału zwrotnego, która jest określana przez operatora sieci, przy czym w danej sieci odstęp pomiędzy górną częstotliwością graniczną kanału zwrotnego, a dolną częstotliwością graniczną kanału podstawowego wynosi co najmniej 15 MHz.

Systemy telewizji kablowej umożliwiają odbiór sygnałów:

- naziemnych nadawczych stacji telewizyjnych,
- nadawanych przez satelity radiodfuzyjne,
- przesyłanych z ośrodka telewizyjnego liniami radiowymi,
- przesyłanych z ośrodka telewizyjnego liniami kablowymi,
- lokalnego studia telewizyjnego,
- radiofonicznych nadawanych z modulacją częstotliwości.

Mają one również możliwość wielokanałowego przesyłania dźwięku towarzyszącego sygnałowi telewizyjnemu systemem NICAM 728 o parametrach zgodnych z PN ETS 300 163 i częstotliwości różnicowej drugiego dźwięku 5,85 MHz. Do transmisji sygnałów usług multimedialnych jest wykorzystywany kanał zwrotny i wybrany (lub wybrane) kanał(y) pasma podstawowego.

## Cyfrowe systemy emisyjne

Stopień rozwoju telewizji cyfrowej jest różny w różnych krajach Europy i zależy zarówno od stopnia rozwoju cywilizacyjnego, poziomu technologicznego, jak i powszechności odbioru kablowego, dostępności kanałów oraz stopnia rozwoju telewizji satelitarnej.

Cyfrowa telewizja satelitarna jest już wykorzystywana i na świecie, i w Europie. Szerokopasmowe transpondery satelitarne mogą przenosić, dzięki kompresji cyfrowej, wiele kanałów telewizyjnych. Z satelitów sygnały cyfrowe mogą być doprowadzone do stacji głównych sieci kablowych, a także mogą docierać bezpośrednio do odbiorców w systemie DTH (*Direct-To-Home*). Poza wielokanałową telewizją operatorzy satelitarni, jako pierwsi, wprowadzają w swych szerokopasmowych łączach o dużej przepływności interaktywne usługi multimedialne, przede wszystkim Internet o bardzo szybkim dostępie. To wszystko stanowi poważne zagrożenie dla przyszłości telewizji naziemnej. Europa – z blisko milionem abonentów cyfrowej telewizji satelitarnej – jest po Stanach Zjednoczonych drugim co do wielkości rynkiem cyfrowej DTH na świecie.

W obecnej chwili oferta satelitarnych programów cyfrowych jest większa niż analogowych.

Mimo potencjalnie dużych możliwości operatorzy sieci kablowych z umiarkowanym optymizmem podchodzą do cyfryzacji przesyłanych programów. Przyjętym na dziś postępowaniem jest odbieranie cyfrowych programów satelitarnych i po przemianie na analogowe przesyłanie do abonentów. Jest to być może obecnie „jedyne” sposob pokazania abonentom sieci kablowych „niektórych” programów z pakietów cyfrowych. „Jedyny” – ponieważ abonent nie ponosi dodatkowych kosztów związanych z zakupem telewizora cyfrowego, set-top-boxu czy modemu kablowego. Tym samym oglądalność tych programów jest większa. „Niektórych” – ponieważ analogowy system przesyłania nie poddaje się kompresji a tym samym każdy program musi zajmować cały kanał telewizyjny. To dość poważne ograniczenie związane z pojemnością każdej sieci, prędzej czy później zmusi operatorów do zmiany stanowiska w sprawie ucyfrowienia swoich przekazów, szczególnie, że daje to olbrzymie możliwości korzystania z telewizji interaktywnej.

Wprowadzenie cyfrowej telewizji naziemnej jest znacznie bardziej skomplikowane niż telewizji satelitarnej. W pełni opracowany i uruchamiany system ma Ameryka Północna. W Stanach Zjednoczonych Federalna Komisja Łączności FCC zaakceptowała w 1996 r. opracowany przez firmy zrzeszone w tzw. Wielkim Przymierzu ogólnoamerykański standard naziemnej telewizji cyfrowej ATSC.

Standard ten różni się od europejskiego standardu DVB-T szeregiem parametrów technicznych. Zasadnicza różnica między telewizją cyfrową w Europie i Ameryce polega na sposobie, w jaki nadawcy zamierzają wykorzystać dodatkową pojemność, uzyskaną dzięki wprowadzeniu nowej technologii. W Europie uważa się że należy przede wszystkim zwiększyć liczbę programów, a nie poprawiać jakości obrazu – toteż nadawcy chcą wprowadzić standardową 625-liniową telewizję cyfrową (SDTV), z szerokim formatem obrazu 16:9. W Stanach Zjednoczonych natomiast, hasło „naziemna telewizja cyfrowa” oznacza przede wszystkim telewizję wysokiej jakości HDTV z szerokim formatem obrazu i dużą rozdzielczością, ponieważ uważa się, że to właśnie HDTV jest przyszłością telewizji – tak jak przed laty kolorowa telewizja, która zastąpiła telewizję czarno-białą.

Program wprowadzania telewizji cyfrowej w Stanach Zjednoczonych jest inicjatywą sektora prywatnego, rozwijającą się bez dotacji rządowych pod nadzorem FCC. O powodzeniu przedsięwzięcia ma zdecydować amerykański rynek, na którym ogromną konkurencję – dla telewizji naziemnej – stanowią przede wszystkim, cyfrowe satelitarne systemy bezpośredniego odbioru DTH, przekazujące w pakietach setki różnych programów, a także telewizja kablowa. Jakkolwiek mówi się obecnie o podziale światowej telewizji cyfrowej na amerykańską i europejską nie można zapomnieć o wieloletnim bardzo

ważnym udziale japońskich nadawców i przemysłu w pracach nad nowymi standardami. Powtarzane są opinie, że to właśnie japoński przemysł może odnieść wiele korzyści z wejścia Ameryki na drogę wiodącą do HDTV.

W Europie – na podstawie przyjętego standardu DVB-T – każde państwo opracowało swój własny, uzgodniony międzynarodowo plan częstotliwości dla naziemnej telewizji cyfrowej. Zostaje określona liczba możliwych do wykorzystania krajowych kanałów lub multipleksów ich zasięg geograficzny (pokrycie kraju). Rządy państw po podjęciu decyzji o wprowadzeniu telewizji cyfrowej zamiast funkcjonującej obecnie telewizji analogowej, określają czas koegzystencji obu systemów (np. *simulcasting*) w okresie przejściowym oraz przewidywany termin całkowitego zaprzestania emisji analogowej. W wielu krajach Europy realizuje się już wieloetapowe programy rządowe wprowadzenia telewizji cyfrowej i strategii okresu przejściowego. Programy te opracowane zostały przez specjalistów, współpracujących ze sobą w organizacjach międzynarodowych.

Cyfrowa telewizja naziemna (zwana również w niektórych środowiskach telewizją ziemską) ma wiele zalet w porównaniu z eksploatowaną obecnie telewizją naziemną analogową. Należą do nich przede wszystkim:

- Możliwość zapewnienia warunków powszechnego odbioru przez niemal stuprocentowe dotarcie do ludności kraju (cyfrowe sieci naziemne mogą pokryć prawie całą powierzchnię kraju, wykorzystując wiele kosztownych elementów istniejącej infrastruktury).
- Zwiększenie liczby przesyłanych programów.  
Znormalizowany w Europie, opracowany przez DVB system naziemnej telewizji cyfrowej umożliwia przesyłanie w jednym standardowym kanale telewizyjnym w.cz kilku programów telewizyjnych. Liczba tych programów zależy przede wszystkim od jakości technicznej obrazu i obecnie dla jakości równoważnej obrazowi w systemie PAL wynosi 4 do 6.  
Jednakże można dokonać wyboru pomiędzy liczbą programów w kanale, ich jakością techniczną, rodzajem anteny u widza (stała na dachu lub wewnętrzna przenośna) oraz odpornością transmisji i procentem pokrytych miejsc. Miejsce w jednym kanale w.cz nazwano „multipleksem cyfrowym”. Jest on traktowany jako pusty zbiornik danych (kontener) do którego można wprowadzić dowolną kombinację skompresowanych programów.
- Zwiększenie liczby dostępnych kanałów (efektywniejsze wykorzystanie widma dostępnych częstotliwości). Zastosowanie modulacji COFDM umożliwia wykorzystywanie tej samej częstotliwości w sąsiednich nadajnikach, co nie jest dopuszczalne w telewizji analogowej.
- Możliwość pracy sieci pojedynczej częstotliwości SFN, co nie tylko umożliwia znaczne zmniejszenie liczby kanałów częstotliwościowych niezbędnych do pokrycia kraju programem telewizyjnym, lecz również pozwala na pracę nadajników ze znacznie mniejszymi mocami. Ponieważ nadajniki w SFN transmitują identyczny multipleks danych, praca nadajników jest synchronizowana, a odbiór sygnałów jest wielokierunkowy, sygnał odbierany składa się z kilku sygnałów składowych, pochodzących z różnych nadajników, czyli występuje jakby wzmocnienie spadku natężenia pola jednego nadajnika przez inny nadajnik, co umożliwia zastosowanie nadajników mniejszej mocy. Efekt ten jest zwany często „wzmocnieniem sieci”.
- Poprawa jakości obrazu.  
Transmisja cyfrowa może dostarczać obraz i dźwięk o różnych poziomach jakości w tym również obrazy szerokopasmowe (o stosunku boków 16:9) oraz obrazy o dużej rozdzielczości (HDTV). Odbiór naziemny cyfrowy w tych samych warunkach co analogowy wymaga niższego poziomu sygnału i jest odporny na zniekształcenia powodowane przez odbicia, które są powszechne przy odbiorze analogowym.



- Dostarczenie dodatkowych usług.  
Zaletą przyjętego standardu MPEG jest możliwość elastycznego wykorzystania wszystkich danych. Daje to możliwość transmisji kilku innych usług razem z programem telewizyjnym. Mogą to być:
  - cyfrowe sygnały radiofoniczne,
  - kanały muzyczne niezależne,
  - dane związane z programem: dane dodatkowe programu (PAD), elektroniczne przewodniki programu (EPG),
  - dane ogólne niezależne, np. programy komputerowe, systemy nawigacyjne, kanały informacji ogólnej.

Usługi te można dekodować przy wykorzystaniu informacji zawartych w kanale informacyjnym Służby Informacyjnej (SI) multipleksu.

- Możliwość łatwej integracji z innymi technikami cyfrowymi, takimi jak GSM, UMTS czy GPS.
- Możliwość emisji większej liczby programów adresowanych do społeczności lokalnych i regionalnych.
- Możliwość odbioru na odbiornikach przenośnych.  
Zastosowanie modulacji COFDM, która jest odporna na odbiór wielodrożny, pozwala na poprawny odbiór na odbiornikach przenośnych bez występowania „zjaw” na obrazie.
- Ewentualna możliwość odbioru w ruchu.  
Specyfikacja systemu DVB nie przewidywała odbioru w ruchu (np. w jadącym samochodzie) ponieważ występujące w czasie ruchu zjawisko Dopplera może spowodować występowanie zakłóceń przy dużej długości symboli, co ogranicza liczbę nośnych. Jednakże przeprowadzone badania dla systemu 2k zgodnie z normą DVB-T pokazały doskonałe rezultaty w ruchu nawet przy dużych prędkościach.

Wielką zaletą techniki cyfrowej w ogóle jest naturalna dla systemów cyfrowych „rozszerzalność”, szczególnie przydatna w dziedzinie audiowizualnej. Standardy cyfrowe umożliwiają niezwykle łatwe przechodzenie do wyższej jakości, np. telewizji cyfrowej o jakości odpowiadającej standardowi PAL, do telewizji wysokiej rozdzielczości HDTV. Emisję stereofoniczną dźwięku w telewizji i w radiu można zastąpić emisją wielokanałową, tworzyć wersje językowe, dołączać dodatkowe informacje tekstowe itp.

Wprowadzenie techniki cyfrowej w telewizji stało się nieuchronnym elementem powszechnej zmiany cywilizacyjnej związanej z szerokim wykorzystaniem technik cyfrowych prowadzących do rozwoju tzw. społeczeństwa informacyjnego. Jednym z takich elementów jest telewizja interaktywna.

### ***Telewizja interaktywna***

Telewizja interaktywna to system, w którym widz może wpływać na odbierany program, a więc system, w którym utworzono specjalny kanał zwrotny.

Interaktywność telewizji wiąże się ściśle z multimedialnością.

Usługi multimedialne są to różnorodne usługi telekomunikacyjne posiadające zdolność przetwarzania co najmniej dwóch typów informacji, w których sygnały są przenoszone w obie strony.

Może to dotyczyć:

- głosu (sygnały: radiofonii, telefonii),
- obrazu ruchomego (telewizja, wizja na żądanie – VOD, wizja prawie na żądanie – NVOD, telewizja użytkowa, kontrola osób i pomieszczeń),
- przesyłania danych (sieć komputerowa, Internet, antywłamaniowy nadzór obiektów, system przeciwpożarowy),
- obrazu stałego (wizjotelefon, wizjokonferencje, zdalne zakupy, usługi bankowe, gry telewizyjne, edukacja, wideotekst).

Do najbardziej interesujących i szybko rozwijających się dziedzin usług wprowadzanych do telewizji interaktywnej należą przede wszystkim usługi, w których istotnym elementem jest przesyłanie obrazu stałego:

- Internet,
- wizjotelefony,
- wizjokonferencje,
- telezakupy: interaktywne korzystanie z katalogów, reklam i zamawianie,
- telebankowość: usługi bankowe,
- kontrola pomieszczeń,
- edukacja, gry umożliwiające indywidualny tryb nauczania;

lub ruchomego:

- telewizja użytkowa np. zdalna kontrola dzieci pozostawionych w domu,
- wizja na żądanie VOD,
- wizja prawie na żądanie NVOD.

Telewizja interaktywna wymaga dwóch dodatkowych kanałów przekazywania danych – kanału w przód (do telewidza) i kanału wstecz (kanału zwrotnego). W szczególności jest konieczne stworzenie możliwości przekazywania sygnałów zwrotnie – od odbiorcy do nadawcy programu (kanał zwrotny). W telewizji cyfrowej kanał informatyczny do telewidza może być zwielokrotniony z cyfrowym sygnałem programu telewizyjnego jako osobista usługa nadawcy. Strumień danych przekazywanych przez ten kanał jest w gestii nadawcy programu. Może się zatem zmieniać w zależności od typu nadawanego programu.

Realizacja kanału zwrotnego jest sprawą znacznie bardziej złożoną niż kanału do telewidza, ponieważ zarówno do urządzeń odbiorcy, jak i nadawcy muszą zostać dodane dodatkowe elementy. Jest mało prawdopodobne, by można było znaleźć jedno optymalne rozwiązanie. Różne możliwości muszą więc uwzględniać:

- koszt eksploatacji,
- koszt urządzeń użytkownika,
- infrastrukturę nadawania.

W zależności od medium transmisyjnego są spotykane różne rozwiązania kanału zwrotnego.

Mówiąc o rozwoju telewizji należy wspomnieć również o rozwoju systemów dźwięku towarzyszącego telewizji, od powszechnie eksploatowanego systemu jednego dźwięku analogowego z modulacją częstotliwościową – przez analogowy system A2 przesyłania dwóch dźwięków z modulacją częstotliwościową dwóch różnych częstotliwości nośnych – do systemu cyfrowego NICAM 728 przesyłania oprócz dźwięku podstawowego dwóch dźwięków dodatkowych.

## Zakończenie

Żyjemy dziś w okresie przełomu, przechodząc od epoki cywilizacji przemysłowej do epoki cywilizacji informacyjnej, która będzie zapewne trwać przez cały XXI wiek. Uważa się, że przemysł usług informacyjnych będzie u progu przyszłego stulecia siłą napędową rozwoju gospodarczego, a te kraje, które teraz potrafią lepiej i szybciej wykorzystać szanse związane z kształtowaniem się społeczeństwa informacyjnego, uzyskają w przyszłych latach silniejszą pozycję gospodarczą.

Dla tworzenia społeczeństwa informacyjnego konieczne są infostrady, czyli globalna infrastruktura informacyjna w postaci szerokopasmowych sieci umożliwiających transport różnego typu informacji i dostęp do baz danych w systemach interaktywnych. Z punktu widzenia nadawców infostrady będą jeszcze jednym medium do przesyłania programów telewizyjnych, globalnym systemem, za pośrednictwem którego setki kanałów telewizyjnych, radiowych i informacyjnych docierać będą do każdego domu. Obecnie za prekursora przyszłych infostrad może być uważany Internet, który w końcu 2002 r. miał już ponad 500 mln użytkowników na całym świecie.

Technika cyfrowa, prowadząca nas w XXI wiek, zmienia całkowicie tradycyjną koncepcję emisji programów telewizyjnych. Wprawdzie nadal wykorzystywane będą wszystkie rodzaje systemów przesyłowych, które są stosowane obecnie – naziemne sieci nadajników, sieci kablowe, mikrofalowe systemy MMDS i satelitarne systemy DTH – ale wprowadzenie emisji cyfrowej umożliwi bardziej efektywną gospodarkę tak cennym dobrem jakim jest widmo częstotliwości i w latach przyszłych zwolnienie wielu kanałów, które będą mogły być przeznaczone dla innych służb telekomunikacyjnych.

## Bibliografia

- [1] Karwowska-Lamparska A.: *Prace w dziedzinie systemów telewizyjnych prowadzone w Instytucie Łączności*. Biuletyn Informacyjny IŁ, nr 9–10, 1986, s. 29–36
- [2] Karwowska-Lamparska A.: *Prace w dziedzinie telewizji w Polsce w latach 1935–1939*. Przegląd Techniki Radio i Telewizja, nr 4, 1992
- [3] Karwowska-Lamparska A.: *Rozwój radiofonii i telewizji*. Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 1, 2003, s. 31–37
- [4] Karwowska-Lamparska A.: *Telewizja trójwymiarowa*. Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 1, 2000, s. 69–74
- [5] Karwowska-Lamparska A.: *Telewizyjne systemy cyfrowe*. Warszawa, WKŁ, 1993
- [6] Karwowska-Lamparska A.: *Trendy rozwojowe współczesnej telewizji*. Materiały z Symposiumu Telekomunikacji KST'99, Bydgoszcz, 1999, t. A, s. 25–42
- [7] Kędziński L.: *Prace w dziedzinie telewizji w Polsce w latach 1935–1939*. Biuletyn Informacyjny IŁ, nr 9–10, 1986, s. 11–28
- [8] Miszczak S.: *Historia radiofonii i telewizji w Polsce*. Warszawa, WKŁ, 1972

- [9] Prochazka J.: *Postępy w dziedzinie telewizyjnej techniki nadawczej*. Biuletyn Informacyjny IŁ, nr 9–10, 1986, s. 45–58
- [10] Sidorenko J.: *Czy DAB jest techniką przestarzałą?* Przegląd Techniki Radio i Telewizja, nr 1, 2000
- [11] Smoleńska H.: *DAB – światło w tunelu*. Przegląd Techniki Radio i Telewizja, nr 1, 2000
- [12] Smoleńska H.: *Postępy radia cyfrowego DRM*. Przegląd Techniki Radio i Telewizja, nr 3, 2002
- [13] Smoleńska H.: *Rozwój sieci telewizyjnych w Polsce*. Biuletyn Informacyjny IŁ, nr 9–10, 1986, s. 59–69
- [14] Trzebunia-Siwicka W.: *Postępy w dziedzinie techniki studyjnej telewizji*. Biuletyn Informacyjny IŁ, nr 90–10, 1986, s. 37–43
- [15] Wagner Z.: *Rodowód polskiej techniki radiofonicznej i telewizyjnej*. Przegląd Techniki Radio i Telewizja, nr 4, 1999, s. 1

### Alina Karwowska-Lamparska



Doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska (1931) – absolwentka Wydziału Łączności Politechniki Warszawskiej (1956); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1955), kierownik Zakładu Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji; specjalny reporter Grupy SG9 ITU-T, przewodnicząca Komitetu Technicznego Nr 11 ds. Telekomunikacji, wiceprzewodnicząca WP 6Q ITU-R, członek: Rady Polskiej Platformy DVB i Platformy DAB, Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN, Sekcji Telekomunikacji Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN oraz Polskiego Komitetu Normalizacyjnego II kadencji; autorka lub współautorka licznych publikacji naukowych z zakresu telewizji; długoletni redaktor oraz członek Rady Programowej wielu czasopism, m. in. *TITI*, *JTIT* oraz *Przeglądu Telekomunikacyjnego + Wiadomości Telekomunikacyjnych*; zainteresowania naukowe: telewizja, radiokomunikacja, telekomunikacja, normalizacja.  
e-mail: A.Karwowska@itl.waw.pl