



**STEFAN CZYŻEWSKI**

## **PRZEŁOMOWY MOMENT W HISTORII TV – ZAPIS CYFROWY**

W historii kultury nowożytnej wyznaczanej między innymi rozwojem składających się nań mediów łatwo zauważyć takie fakty, których zaistnienie stawało się podstawą wręcz rewolucyjnych zmian. Fakty te następowały najczęściej dość nagle, nie były efektem kontynuacyjnie przebiegającego równomiernego rozwoju. Ta konstatacja pociąga za sobą stwierdzenie, że rozwój kultury nie przebiega linearnie, a tworzące go fakty ujawniają się z różną dynamiką.

Takim faktem była dla literatury rewolucja Gutenberga, która jakkolwiek nie zmieniła natychmiast literatury, ale zmieniła sposób jej dystrybucji rozpoczynając erę komunikacji typograficznej. Multiplikacja książek zaczęła być powszechna i łatwo zauważyć, że stosunkowo szybko zjawisko to stało się podstawą zachowywania piśmiennego dziedzictwa ludzkości. Wieloegzemplarzowość wydawnictw wpłynęła na ukształtowanie się kultury książki, a jej przeobrażenia spowodowały początek czasów prypisów i odsyłaaczy wiążących książki ze sobą.

Malarstwo także może odnotować taką rewolucyjną zmianę, jaką było wprowadzenie techniki farb olejnych rozwijanej od XV/XVI wieku. Nastąpiła jakościowa zmiana wynikająca z własności fizycznych tych farb, które poprzez spowolnienie, względem wcześniej powszechnie stosowanych farb wodnych, proces schnięcia umożliwiły: efekty laserunkowe, malowanie z wyższym stopniem czytelności szczegółów i stosowanie szerszego zakresu kolorów. Zapanował powszechny zachwyty efektami trompe l'œil i starożytny mit o rywalizacji Zeuksisa i Parrasjosa nabrał nowej aktualności.

Fotografia w sensie jej dostępności i powszechnej praktyki fotografowania, zwłaszcza w kulturze społeczeństw Zachodu, miała również takie momenty zwrotne w swych dziejach. Odnotowane jest, upowszechniające fotografię, wprowadzenie w 1925 roku modelu aparatu małoobrazkowego *Leica 35mm*, jakkolwiek, wracając do źródeł wieku XIX, takim momentem był fakt wręcz symboliczny – wydarzenie z 1888 roku, kiedy spółka Eastman wprowadziła model aparatu Kodak na stuklatkowe rolki, aparatu reklamowanego hasłem – *You press the button, we do the rest*. Oczywiście masowość uprawiania fotografii w 1888 roku i sto lat później, to zupełnie coś innego. Jednak historia technologii fotograficznej jest historią ciągłej aplikacji do fotografii najpierw zawodowej, potem amatorskiej wszelkich osiągnięć nauki i techniki.

W stosunku do każdego z dwudziestowiecznych mediów, w ich dotychczasowej historii, także nie sposób mówić o sytuacji statycznej w znaczeniu stałości ich kulturowego i społecznego funkcjonowania w zależności od repertuaru środków wyrazowych, które na bazie technologii wyznaczają ich specyfikę. Dzieje się tak dlatego, że media te zazwyczaj mają techniczny rodowód i ulegają przeobrażeniom wraz z rozwojem technologii w sensie cywilizacyjnym. Proces ten jest ciągły, lecz nie ma charakteru jednostajnie kontynuacyjnego, przebiega z różną dynamiką zmian. Niektóre z owych zmian mają wręcz spektakularny wymiar, powodując zmianę jakościową danego medium, po której, wydaje się, że jego historia staje się czymś kompletnie odrębnym.

Takimi zmianami w dziejach filmu było wprowadzenie: dźwięku, koloru (w systemie taśm trójwarstwowych), później dźwięku surround oraz spektakularnie rewolucyjna era cyfrowych efektów specjalnych.

Taką zmianą w dziejach telewizji było również wprowadzenie koloru, ale najbardziej rewolucyjny przełom nastąpił na skutek zmiany technologii wytwarzania obrazu telewizyjnego i jego zapisu z analogowego na cyfrowy. W „cyfrowej erze” telewizji zredukowane zostały nieomal całkowicie ograniczenia telewizji analogowej dotyczące przesyłania i dystrybucji sygnałów a także ich zapisywania oraz, co wymaga w kontekście niniejszego tekstu szczególnego podkreślenia, kopiowania zarejestrowanych programów TV. Przełom ten stał się podstawą dynamicznego rozwoju nowych form funkcjonowania

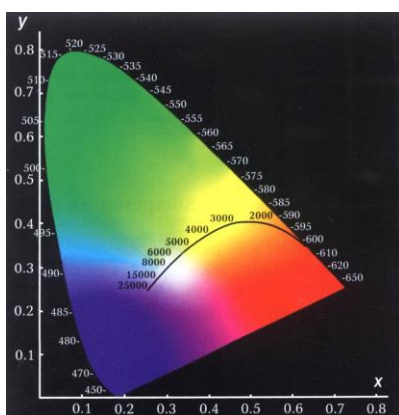
telewizji w kulturze, tu szczególnie należy podkreślić możliwości satelitarnych platform cyfrowych i Internet TV. Dodać należy, że na platformach cyfrowych i analogicznie pod adresami internetowymi dostępne zaczęły również być programy radiowe. Bowiem prawie równolegle, lecz bez tak znaczącego wpływu na kulturę, nastąpiła rewolucja w technologii systemu zapisu, kopiowania i odtwarzania dźwięku. Jej zakres jednak został ograniczony do zmian wynikających z zamiany analogowych płyt winylowych na nośniki CD. Stało się tak dlatego, że mechaniczne uszkodzenia nośnika winylowego objawiające się trzaskami i skrzypieniami uniemożliwiały odsłuch dźwięku bez zakłóceń i dlatego stosunkowo szybko wprowadzono płyty CD. Technologia dźwięku analogowego nie była tak wrażliwa na różne elektromagnetyczne zakłócenia degradujące jakość dźwięku, jak to było w przypadku obrazu. Magnetyczny zapis dźwięku na taśmach w systemie analogowym pozostał równolegle do płyt CD (zapis cyfrowy) jeszcze stosunkowo długo.

Należy zauważyć, że technologia radiowa, jak i telewizyjna, po stronie studyjnej, obie korzystały z techniki cyfrowej od połowy lat osiemdziesiątych. Praktyka dopiero ostatnich lat przyniosła wprowadzenie technologii cyfrowej do telewizyjnej emisji naziemnej DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) a na cyfrowy naziemny sygnał radiowy jeszcze musimy poczekać... Spowodowane to jest wieloma złożonymi przyczynami, leżącymi na różnych obszarach od uwarunkowań technologicznych po ekonomiczne i społeczne.

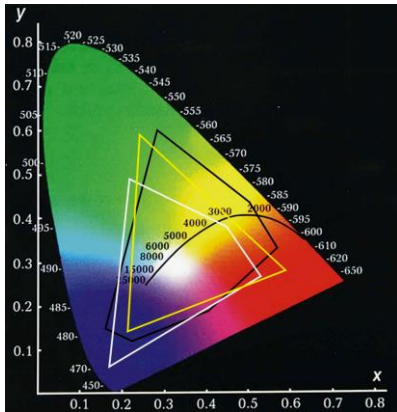
Różnica pomiędzy „poziomem rewolucyjności zmian” na skutek wprowadzenia technologii cyfrowej pomiędzy radiem a telewizją wynika bezpośrednio z podstawowego parametru określającego ilość przesyłanych i odbieranych informacji (czyli zmian w sygnale radiowym/telewizyjnym) na jednostkę czasu – określić to można proporcją jak 1 (radio) do 325 (TV). Oznacza to, że analogowy sygnał telewizyjny stwarza wielokrotnie wyższe wymagania techniczne dla urządzeń, niż radiowy, bowiem w jednej sekundzie należy przesłać 325 razy więcej informacji. Między innymi dlatego wprowadzenie cyfryzacji w telewizji jest w tej skali wydarzeniem rewolucyjnym, zredukowało bowiem prawie wszystkie kłopoty z sygnałem analogowym.

Na wstępie – uwaga metodologiczna, uwarunkowana techniką. Obraz na ekranie telewizyjnym i dźwięk w głośnikach zawsze były i ciągle są – mimo technologii cyfrowej TV – analogowe! W języku profesjonalnym stosuje się określenia A/D i D/A, czyli „analog to digital” i „digital to analog”, dla interfejsów jakimi są – odpowiednio – kamera i mikrofon oraz ekran i głośnik. W technologii cyfrowej, cyfrowy jest sygnał zawierający informacje o obrazie (dźwięku) pomiędzy tymi interfejsami. Oznacza to, że tzw. „obraz (dźwięk) analogowy” oraz „obraz (dźwięk) cyfrowy” są skrótami określeń „obraz (dźwięk) w technologii analogowej” oraz „obraz (dźwięk) w technologii cyfrowej”. To ważna uwaga metodyczna, bowiem tzw. „obraz (dźwięk) cyfrowy” nie istnieje – obraz (dźwięk) cyfrowy jest zawsze analogowy!

Tekst niniejszy jest próbą wyjaśnienia technologicznych uwarunkowań owego rewolucyjnego przełomu, jakim niewątpliwie było „przejście na cyfrę” poprzez porównanie jakości obrazu telewizyjnego w technologii analogowej do jego cyfrowej wersji. Omawia zagadnienia warunkujące tzw. definicję obrazu – wyznacznik jego jakości, czyli zdolności do tworzenia kopii rzeczywistości, która zawiera składniki postrzegania tożsame z realnością, tj. akceptowalne jako tożsame ze skumulowanymi doświadczeniami wizualnymi. Im owa definicja jest na wyższym poziomie, tym wyższy jest poziom tej tożsamości. Poziom tej definicji warunkowany jest przez ilość odtwarzanych szczegółów na jednostkę powierzchni (rozdzielczość), ostrość konturową, kontrast i tzw. barwną szerokość fotograficzną (subtelność ilościowego rozróżniania różnicowań kolorystycznych – „gamut”).



Gamut kolorów rzeczywistych według Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej (CIE). Liczby na obwodzie są długościami fali w nm (m<sup>-9</sup>) określają kolory „czyste” o nasyceniu 100% – wynik rozszczepienia światła białego. Wewnątrz „podkówki” kolory ze zmniejszającym się nasyceniem, do punktu bieli – „0 koloru”. Linia krzywa z liczbami 2000 do 25000 ilustruje temperaturę barwową bieli (od światła świecy do błękitu nieba).



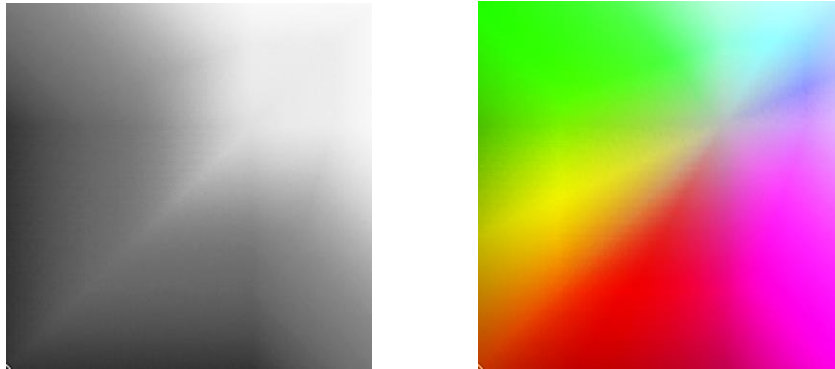
Gamuty kolorów w praktyce (zbiór wszystkich kolorów, możliwych do odtworzenia przez dane urządzenie) - przykłady.  
Linia czarna – skaner RGB  
Linia żółta – monitor RGB (ekran TV)  
Linia biała – drukarka CMYK

Powyższe rysunki pokazują, jak bardzo zakres rzeczywistych kolorów jest w praktyce ograniczany przez możliwości odtwarzania przez różne urządzenia. Dzieje się to z trzech powodów. Po pierwsze, urządzenie rejestrujące musi mieć możliwości zarejestrowania różnicowań kolorystycznych; po drugie, urządzenie wyświetlające musi mieć możliwości wyświetlenia zarejestrowanych różnicowań, gdyż ograniczeniem są fizyczne właściwości np. luminoforu ekranu, czy barwników drukarki; oraz po trzecie, różnice gamutów są rezultatem degradacji sygnałów spowodowanej m.in. różnego rodzaju kompresjami.

Z teoretycznego punktu widzenia należy mieć na uwadze obraz na ekranie, który powinien zawierać składniki wizualne reprodukowanej rzeczywistości i poprzez to przezroczyście do niej odsyłać, powodując u widza odczucie realności. Nie ma absolutnie żadnego znaczenia, w jakiej technologii obraz ten jest pozyskiwany, zapisywany i w końcu wyświetlany. Ważna jest tylko owa zgodność z rzeczywistością jako kryterium widza a probującego efekt ekranowy. Oznacza to konieczność dostarczenia widzowi w finalnym obrazie takiej samej ilości informacji, niezależnie od metody jego zapisu, transmisji i projekcji. Informacje te określa się poprzez ilość zróżnicowanych względem siebie punktów – pikseli i stopniem możliwości wprowadzenia tych różnicowań – tzw. głębokość bitowa.

Drugą część niniejszego tekstu stanowi dokonane – na bazie powyższych sformułowań teoretycznych – porównanie zapisu analogowego i cyfrowego oraz prezentacja tzw. formatów zapisu dominujących w końcu epoki analogowej z wyodrębnieniem: kompozytowych i komponentowych oraz tych, które rozpoczęły epokę cyfrową. W porównaniu tym nie sposób uniknąć pojęć i metodologii nauk ścisłych, dlatego też tekst rozszerzony jest odpowiednio skomentowanymi ilustracjami. Zawiera również proste wyjaśnienia skomplikowanych pojęć i określeń, które wykorzystuje się do opisu poszczególnych etapów tworzenia sygnału obrazu telewizyjnego na drodze: analog – cyfra – analog, takich jak częstotliwość próbkowania, głębokość bitowa, kwantyzacja, kompresja, itp. Desygnaty tych pojęć warunkują właśnie definicję obrazu telewizyjnego, czyli poziom odtwarzanego realizmu.

Jak już powyżej zostało wspomniane – każdy obraz na ekranie telewizyjnym, komputerowym, także z cyfrowego rzutnika, będący „reprezentantem” rzeczywistości – jest i zawsze był, obrazem analogowym! Zawiera bowiem szereg zróżnicowań odcieni szarości lub kolorystycznych, których całkowita liczba – znamy ją m.in. z prospektów monitorów komputerowych – powinna osiągnąć jako minimum (dla koloru) niewyobrażalny poziom 16 777 216 zróżnicowań, aby zapewnić zgodność reprodukcyjną w stosunku do rzeczywistości. [256 (R – czerwony) x 256 (G – zielony) x 256 (B – niebieski)]



Odrębne zagadnienie stanowi liczba pikseli tworzących obraz. Modelowy przykład na bazie systemu TV czarno białej – wg. standardu OIRT (Organisation Internationale de Radiodiffusion et de Télévision): jeżeli system ten ma 625 linii poziomych, a proporcje kadru są 4:3, to liczba punktów wzdłuż linii będzie  $625 \times 4/3 = 833$ . Tak więc liczba punktów na jednej klatce wynosi  $833 \times 625 = 520\,625$  i stanowi teoretyczną rozdzielczość maksymalną. Jeżeli informacja w takiej liczbie punktów zmienia się w każdej kolejnej klatce, a jest ich 25 na sekundę, to musimy przesłać:  $25 \times 520\,625$  – czyli 13 015 625 odmiennych wartości w ciągu sekundy. W rzeczywistości (nieco upraszczając) wystarczy przesłać jeden impuls elektryczny będący informacją o różnicy pomiędzy dwoma kolejnymi punktami, tak więc liczba danych na sekundę spada o połowę, tj. do 6 507 812.

W praktyce liczba tzw. aktywnych punktów obrazowych jest mniejsza, ze względu na m.in. tzw. czasy powrotów linii i ramki (są to czasy trwania impulsów synchronizacji i wygaszania – analogicznie jak miejsce „czasowe” na mostek międzyklatkowy w taśmie filmowej) i wynosi  $576 \times 720$ , czyli 414 720 punktów na jedną klatkę, mnożąc przez 25 klatek na 1 sek. otrzymujemy 10 368 000 odmiennych wartości, dla przesłania których potrzebna jest szerokość pasma częstotliwości dla sygnału ok. 5 MHz (np.: system PAL B/G).

Historycznie, praktycznie wszystkie urządzenia TV analogowej, zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej operowały **sygnałem kompozytowym** czyli zawierającym równocześnie dwie informacje o jasności i o kolorze. Po stronie produkcyjnej TV analogowej, (w studiach i montażowniach) dzięki rozwojowi elektroniki – powszechnie od ponad 30 lat, operuje się innym typem sygnału, tzw. **sygnałem komponentowym**, w którym następuje rozdzielenie na niezależne tor



informacji o jasności i o kolorach, bądź też przesyłanie niez mieszanych składowych RGB (w profesjonalnych monitorach komputerowych jest stosowany taki sygnał i wymaga połączenia karty graficznej komputera z monitorem trzema kablami). Należy zauważyć, że w praktyce operowania tym typem sygnału kompletnej informacji o obrazie, już nie można przesłać jej „po jednym kablu”, jednoprzewodowo – jak kompozytu, a potrzebne są (w zależności o rodzaju komponentu – są różne!) dwa lub trzy przewody. Oznacza to, że w zapisie magnetycznym, również każdy tor rejestrowany jest jako oddzielny ślad magnetyczny.

**Composite Video** – składowe: sygnał luminancji i chrominancji przesyłane są po jednym przewodzie. Powoduje to wzajemne zakłócenia na skutek interferencji częstotliwości odzwierciedlających zmiany w obrazie. Trudności technologiczne długo uniemożliwiały przesył tak dużego strumienia danych i zdecydowano się na zmniejszenie szerokości pasma sygnału, czyli spadek rozdzielczości. System ten nie powodował kłopotów z synchronizacją, bowiem nie trzeba było „składać” poszczególnych kolorów z luminancją.

**Component Video** – każdy kolor składowy jest przesyłany jako oddzielny sygnał video. Składowymi podstawowymi są RGB lub pochodne (Y, R-Y, B-Y, kolor zielony powstaje w wyniku „odjęcia” czerwonego i niebieskiego od sygnału jasności Y – biel). System ten wymaga większej szerokości pasma, ale zapewnia optymalne odwzorowanie kolorów.

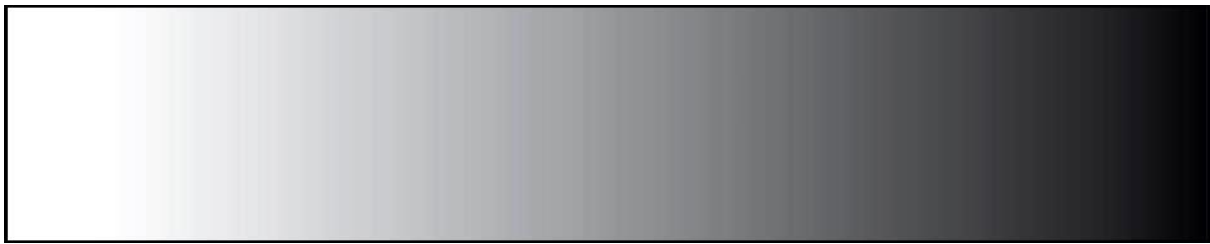
Praktycznie każdy z systemów zapisu magnetycznego miał dwie wersje – kompozytową (wcześniejszą) i komponentową (późniejszą). W połowie lat siedemdziesiątych wprowadzony amatorski system VHS (video home system) później, już w latach osiemdziesiątych zastąpiony został przez S-VHS (super video home system). Analogicznie pseudo profesjonalny Video8, przez Hi8; profesjonalny U-matic, przez Betacam. Oczywiście w technologiach studyjnych było inaczej – stosowano różne mutacje magnetowidów AMPEX najpierw z taśmą o szerokości dwóch, później jednego cala. Przejście na rejestrację sygnału komponentowego stało się możliwe dzięki rozwojowi elektroniki zwiększającemu znacznie szybkość transmisji danych. Powyższe systemy zdominowały technologie TV (było jeszcze kilka, które nie zostały wdrożone), lecz wszystkie były analogowe i na skutek tego obciążone wadą utraty jakości obrazu przy wykonywaniu kopii.

Obecnie wszystkie systemy cyfrowe są komponentowe.

## Cyfrowa TV

Dane o różnicach pomiędzy dwoma kolejnymi punktami telewizyjnego obrazu analogowego mogą, w dowolnym momencie pomiędzy dwiema kolejnymi klatkami, zmieniać się od zera (ten sam punkt ekranu ma te same dane, czyli na dwu kolejnych klatkach – jest takim samym punktem), aż – np. na sklejce – do zmiany maksymalnej (tj.

np. „biel – czerń”). Jak wyżej już zostało wspomniane, w praktyce, pomiędzy ową czernią i bielą w obrazie analogowym oko człowieka może odróżnić około 250 poziomów szarości jako wystarczającą liczbę do odczucia wrażenia realizmu – a więc istnieje konieczność ich zapisu. Sygnał analogowy, stanowiąc informacje o takim obrazie, jest zmiennym przebiegiem napięcia o płynnych przejściach pomiędzy dwiema wartościami, różnymi dla kolejnych punktów obrazu, w przedziale od wartości zerowej (czerni), do wartości maksymalnej (bieli). Zagadnienie to ilustruje poniższy rysunek przedstawiający „kontynuacyjną” szarość, w której ludzki aparat postrzegania może rozróżnić około 250 różnic definiowanych jako różnice jasności pomiędzy dwoma sąsiednimi punktami.



Jeżeli widzimy całość, to wydaje się, że widzimy zmianę jasności bez interwałów. Gdyby spreparować poniższy rysunek wydzielając w nim paski, które zostałyby rozdzielane przerwami, to wówczas, aby dostrzec różnicę na brzegach takich pasków, byłoby ich około 250. Poniższy rysunek przedstawia ten problem w uproszczeniu, gdyż jest na nim tylko osiemnaście pasków a i tak nie dostrzegamy różnicy pomiędzy pierwszym a drugim. Jest to efektem ograniczeń technologicznych (druku lub/i ekranu), gdyż test taki musiałby spełniać niezwykle wysokie wymagania odnośnie parametrów: kontrastu, jasności i warunków obserwacji (w tym relacja z tłem). Ważna uwaga: każdy z pasków na całej swojej powierzchni jest szarością jednorodną.



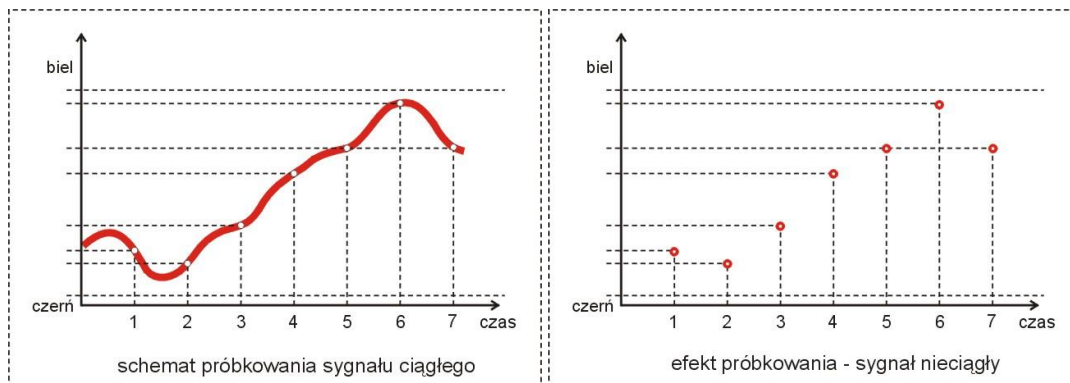
Aby 250 poziomów zapisać w układzie binarnym (a nie dziesiętnym), należy użyć tzw. „8-bitowego słowa”, czyli ośmiopozycyjnej sekwencji zer lub/i jedynek. Ze względów „matematycznych”, jako konsekwencja zapisu binarnego, przyjęto 256 poziomów, gdyż  $2^8 = 256$ . „Zera” i „jedynek”, zestawiane ze sobą w dowolnych kombinacjach tworzą możliwość opisu każdego z 255 poziomów od czerni poprzez szarości do bieli („jednobitowe słowo”, tj. alternatywa „0” lub „1”, opisywałoby różnicę tylko pomiędzy dwoma poziomami np.: biel i czerń). Zero lub jedynka na każdej z ośmiu pozycji daje takich kombinacji 255. Liczba „255”, zapisana jako 255 w znanym i stosowanym powszechnie systemie dziesiętnym, przedstawiona w zapisie binarnym, wyrażona jest przez 11111111, ale 256 – już przez 10000000, czyli „słowo” musiałoby być już „dziewięciobitowe”.



## Konwersja A/D

Przyjęto 8 bitową głębokość obrazu cyfrowego (czyli 255 poziomów odcieni szarości) jako wystarczającą do odtworzenia wrażenia realności, ale... dla obrazu barwnego, trójskładnikowego, tj. RGB – mamy:  $256 \times 256 \times 256$  równie 16 777 216 informacji

### Faza pierwsza – próbkowanie

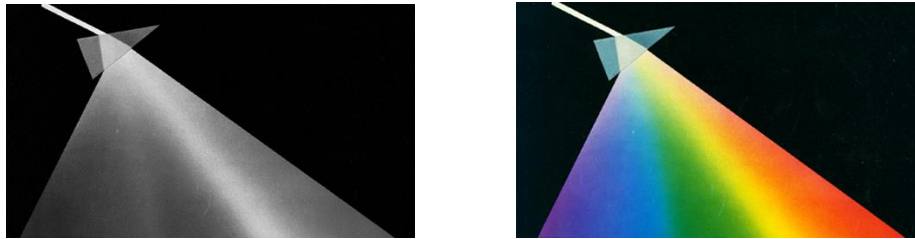


Sygnał analogowy jest „płynnieciągły” w czasie. Istotą przetworzenia go na sygnał cyfrowy jest zamiana zapisu owego płynnego ciągu zmian w przestrzeni od minimum do maksimum (w praktyce amplituda sygnału TV waha się od 0,3V – czerni, do 1V – biel), w trakcie tzw. próbkowania, na sygnał nieciągły w czasie tzw. sygnał dyskretny, czyli zawierający ciąg następujących po sobie impulsów, ale z „lukami” czasowymi pomiędzy nimi. W lukach tych nie ma danych o informacji obrazowej. Wartości tych impulsów są opisane w układzie binarnym, tj. dla każdego z nich istnieje oddzielna sekwencja cyfr, zawierająca kombinacje tylko dwu wartości „0” i „1”.

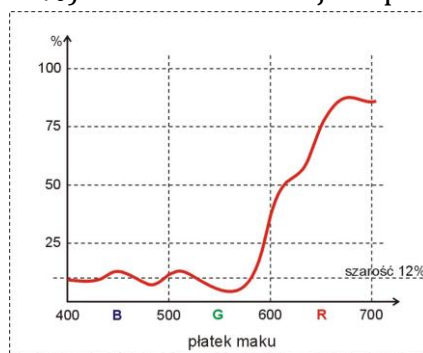
W oparciu o skomplikowane teorie matematyczne przyjęto, że częstotliwość próbkowania powinna być co najmniej dwukrotnie większa niż maksymalna częstotliwość sygnału próbkowanego (tzw. reguły Nyquista / Shanona). Jest to ogólna prawidłowość, której zależności możemy spotkać także przy digitalizacji dźwięku, dla którego maksymalne pasmo odtwarzanych częstotliwości akustycznych wynosi wg normy Hi-Fi – od 20 do 20 000 Hz, digitalizowane jest z częstotliwością próbkowania 44 100 Hz – standard CD, lub z 48 000 Hz – standard DAT (digital audio tracking – magnetofony). Dla obrazów telewizyjnych (szerokość pasma dla PAL B/G do 5 MHz) wystarczałoby 10 MHz, w praktyce przyjęto wartość częstotliwości 13,5 MHz, konieczną ze względów technicznych, ponieważ spełnia ona wymóg całkowitej wielokrotności częstotliwości wybierania liniowego, zarówno dla standardu 625/50 (PAL – Europa), jak też 525/60 (NTSC – USA i Japonia), co z oczywistych powodów ma sens praktyczny.

Nadmienić jednak należy, że maksymalna szerokość pasma częstotliwości w sygnale analogowym wymagana jest tylko dla jego składowej walorowej, czyli sygnału luminancji, chrominancja może być jeszcze do przyjęcia nawet przy czterokrotnym zawężeniu jej szerokości pasma (dla PAL B/G około 1,3 MHz). Możliwość taka wynika z cech psychofizjologicznych ludzkiego aparatu postrzegania bardziej czułego na

zróźnicowania w szarościach, które wystarczy tylko „zakolorować”. Powyżej opisana kwestia gamutu dodatkowo to udowadnia, a poniższe rysunki dopełniają wyjaśnienie.



Ponieważ w rzeczywistości nas otaczającej nie istnieją barwy czyste – zawsze są mniej nasycone niż 100% (poza rozszczepionym przez pryzmat światłem białym – tu są w nasyceniu 100%). Oznacza to, że np. dana czerwień, powiedzmy kwiatu maku, ma w swojej dominującej „czerwoności” ilości śladowe domieszki barw zielonej i niebieskiej... czyli ma w sobie śladową szarość, bowiem składa się na tę szarość także proporcjonalna do G i B „śladowa” część z dominującej R. Oko tego nie postrzega, ale odpowiednie przyrządy – spektrometry – tak. Czyli barwę maku tworzy kilkunastoprocentowa szarość ( $\sim 12\%R + \sim 10\%G + \sim 13\%B$ ) zdominowana przez kilkadziesiątprocentową ( $\sim 80\%$ ) czerwień. Ilustruje to poniższy rysunek.



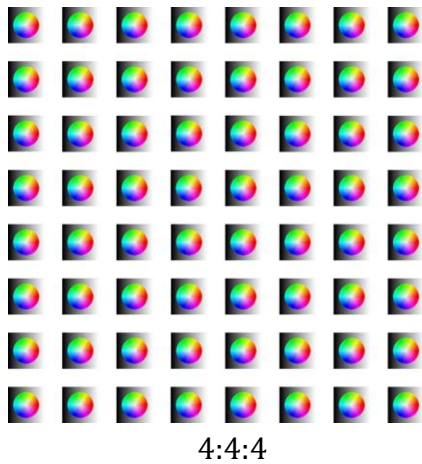
Zależność tę wykorzystano w procesie digitalizacji sygnału analogowego. W komponencie różnicowym sygnał luminancji – Y i dwa sygnały kolorów różnicowych R-Y i B-Y są próbkowane z różnymi częstotliwościami, w zależności od przyjętego standardu (jest ich kilka, co nieco komplikuje zagadnienie). Różnice te odzwierciedlane są poprzez prosty „szyfr” trzech cyfr rozdzielonych znakiem „:”, i tak np. dla standardu D1 (ITU-R BT 601 / CCIR 601) ma on postać 4:2:2, co oznacza próbkowanie sygnału luminancji 13,5 MHz (pełna szerokość pasma – wyrażone przez „4”), oraz dwukrotnie zmniejszoną częstotliwość próbkowania sygnałów różnicowych kolorów 6,75 MHz (połowa szerokości pasma – wyrażone dwoma „2”). Z kolei zapis 4:1:1, oznacza rezygnację systemową z rozdzielczości barwnej do poziomu 1/4 – co jest praktycznie granicą akceptowalności wizualnej. W praktyce bowiem oznacza to zapis informacji o kolorze tylko dla 180 z 720 pikseli wzdłuż linii! Czyli, że cztery kolejne piksele mają te same wartości RGB. Poniższy rysunek ilustruje ten problem.



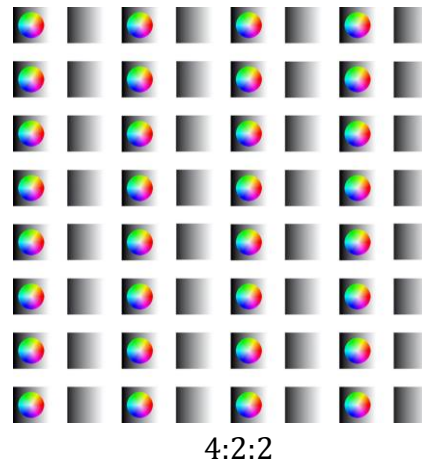
piksel z próbkowaniem chrominancji i luminancji



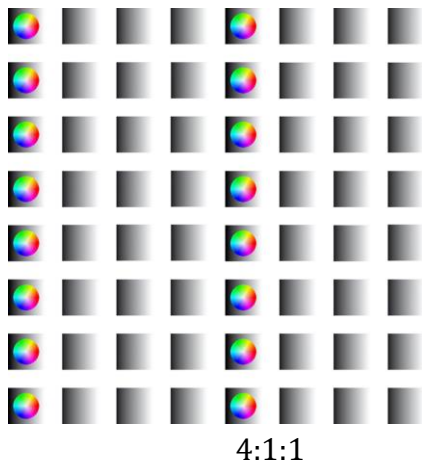
piksel z próbkowaniem tylko luminancji



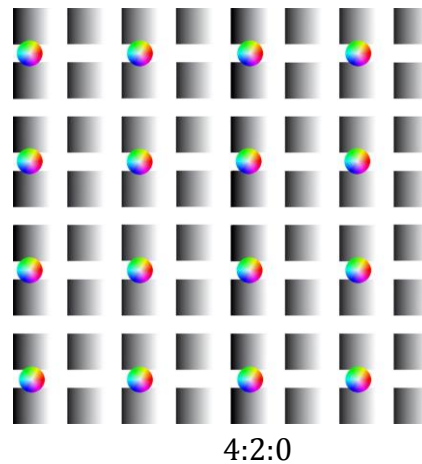
4:4:4



4:2:2



4:1:1

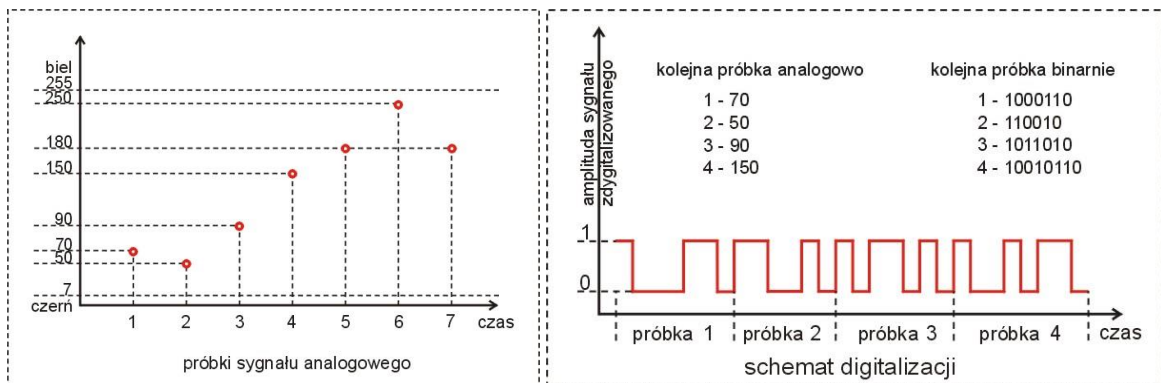


4:2:0

Idea rozkładu próbkowania w zależności od przyjętego standardu: chrominancji i luminancji, oraz tylko luminancji, na tzw. macroblocku (fragmencie) obrazu 8 na 8 pikseli.

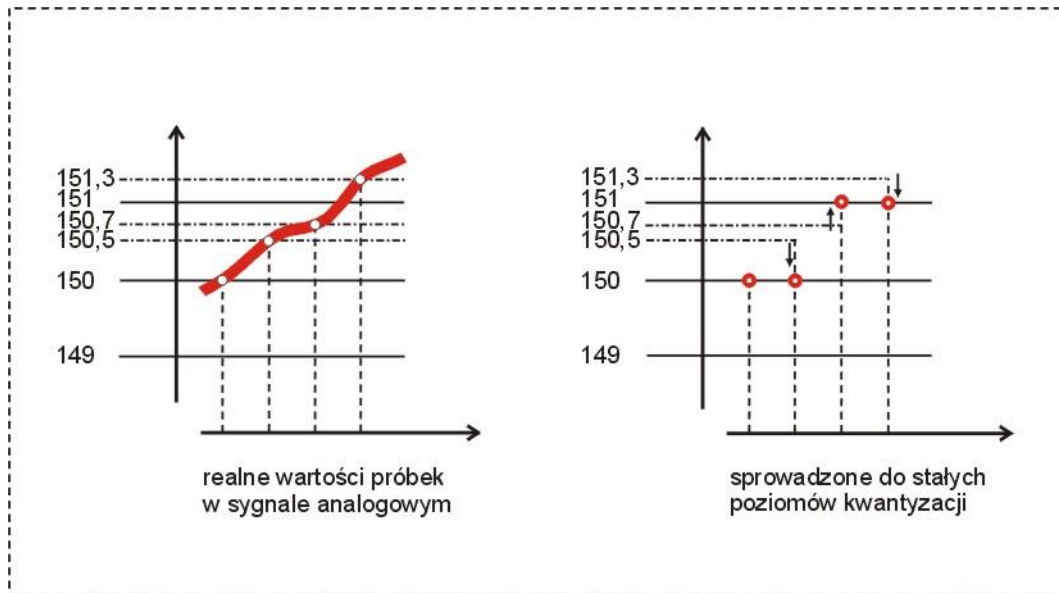
Faza druga – digitalizacja i faza trzecia – kwantyzacja.

Digitalizacja:



Digitalizacja jest operacją matematyczną, polega na zamianie zapisu wartości poszczególnych próbek dyskretnego sygnału analogowego (o różnych wartościach amplitudy) na ciąg wartości binarnych (tylko o dwu wartościach – „0” i „1”). Wymaga jednak wsparcia „bardzo szybkiej elektroniki” – proces ten odbywa się w czasie rzeczywistym.

Kwantyzacja:



Rysunek powyższy ilustruje zasadę stałych poziomów kwantyzacji – wartości 150,0 i 150,5 w sygnale analogowym zostają sprowadzone do jednego poziomu: 150,0 sygnału cyfrowego, a 150,7; 151,0 i 151,3 zostają wyrównane do 151,0. Jest to pewnego rodzaju uproszczenie. W teoretycznym modelu każdy dowolny punkt ekranu może być przedstawiony przez dowolną kombinację trzech wartości RGB, wypadkowo opisującą jego kolor w przedziale 0 – 255. Przedstawiona powyżej zależność jest jednym z parametrów digitalizacji sygnału analogowego (tzw. kwantyzacja), ściśle związana z głębokością bitową, ale podkreślić w tym miejscu należy, że przyjęte 8 bitów jest minimalną wartością gwarantującą widzowi w procesie percepcji poczucie realności oglądanego obrazu. Tu napotykamy różnicę w stosunku do obrazu analogowego, którego charakterystyczną cechą jest ciągłość przejść pomiędzy różnicami w sąsiednich punktach ekranu a nie schodkowość. Dodać należy, że zwiększenie głębokości bitowej – np. do 10, powodowałoby 1024 poziomy (2<sup>10</sup> = 1024) zmniejszając uproszczenia wynikające ze stałości poziomów kwantyzacji. Równocześnie jednak wymuszałyby zwiększenie strumienia danych, znacznie komplikując technologię.

Faza czwarta – kompresja

Polega na:

- a) usunięciu redundancji – czyli „nadmiaru” danych. W prostym przykładzie są to np. powtarzające się takie same wartości RGB dla kolejnych punktów

wzdłuż linii telewizyjnej, np. niebo jako tło. Usunięcie ich z informacji o obrazie „nie zubaża go”, pod warunkiem że te „tożsame” dane z jednego punktu zostaną przy odtwarzaniu z powrotem przywrócone we wszystkich takich samych punktach odtwarzanego obrazu, co spełnione jest poprzez stosowanie odpowiednich algorytmów kompresji.

- b) usunięciu irrelewancji – czyli takich danych, których utrata jest ze względów ogólnej nośności informacyjnej obrazu dopuszczalna. W przeciwieństwie do poprzedniego – odwracalnego typu redukcji danych, usunięcie irrelewancji powoduje nieodwracalną utratę informacji. Realizowana jest poprzez zastosowanie złożonych algorytmów kompresji.

W rzeczywistości jest to najbardziej skomplikowana i jednocześnie najbardziej spektakularna operacja matematyczno-elektroniczna w procesie digitalizacji sygnału analogowego. Ze względu na stopień komplikacji tych procesów, szczegółowe dane na ten temat muszą zostać pominięte. Dodatkowym powodem jest różnorodność systemów i wielość metod kompresji. Dość wspomnieć, że tylko w standardzie MPEG 2 wydzielono w jego obrębie cztery poziomy (Low Level, Main Level, High 1440, High) różniące się strukturą algorytmów MPEG, oraz sześć profili (4:2:2 Profile, High Profile, Spatially Scalable Profile, SNR Scalable Profile, Main Profile, Simple Profile) różniących się szybkością transmisji strumienia danych i formatem obrazu, tj. liczbą tworzących go pikseli, w całości układ ten daje teoretycznie 24 kombinacje możliwych podstandardów. W praktyce istnieje bodaj 12, ale i tak stanowi to znaczną komplikację.

Ważność danych szczegółowych dla rozważań o definicji obrazu jest niezwykle istotna, bowiem stwierdzenie, że mamy do czynienia z sygnałem MPEG 2 (nazwa pochodzi od Moving Picture Experts Group, którzy definiowali standardy) jest niewystarczające, gdyż np. SNR Scalable Profile @ Low Level oferuje format wielkości 352 x 288 pikseli i szybkość transmisji do 3 Mbps. (jakość obrazu gorsza niż np. na płytach VCD), podczas gdy zdefiniowany jako standard transmisji barwnych sygnałów telewizyjnych Main Profile @ Main Level przesyła informację o obrazie złożonym z 720 x 576 pikseli i szybkość transmisji do 15 Mbps., a High Profile @ High Level zapewnia przesył danych z formatu 1 920 x 1 152 pikseli i szybkość transmisji do 100 Mbps., czyli jakość zbliżoną do High Definition.

Pewnym wyjaśnieniem powyższych skomplikowanych informacji może być następujący przykład. Powszechny na rynku standard płyt DVD (Digital Versatile Disc) oferuje dwa rodzaje płyt: jednowarstwowe – DVD SL (Single Layer) o pojemności 4,7 GB i dwuwarstwowe – DVD DL (Double Layer) o pojemności około 8 GB. (nie mylić z dwustronnymi; w finale tworzenia wersji kombinacji, może być płyta dwustronna i dwuwarstwowa na obu stronach, o łącznej pojemności do 17 GB!). Kupiony film na płycie dwuwarstwowej można skopiować na płytę jednowarstwową (o prawie połowę mniejszej objętości, tj. „zredukować objętość” z 8 GB na 4,7 GB) przy zachowaniu standardowego czasu odtwarzania – SP (Standard Play). W zależności od nagrywarki można skopiować ten film wybierając inny z wielu możliwych stopni redukcji objętości,



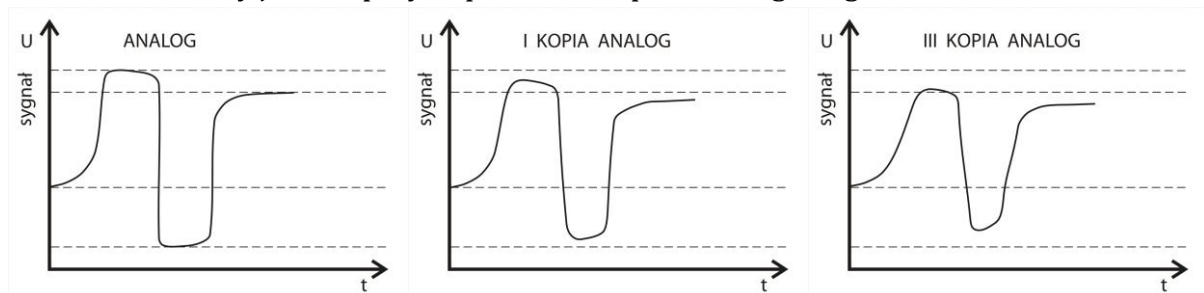
od SEP (Super Extended Play), przez warianty: SLP EP LP LSP, poprzez podstawowy SP, i ... zwiększyć, HSP (High Standard Play), po HQ i nawet HQ+ (High Quality plus). Ważna uwaga: wszystkie przypadki zachowują oryginalny, ten sam czas trwania filmu, zmienia się tylko procentowa zajętość dysku. Dodać należy, że dla ostatnich przypadków konieczne byłoby użycie płyty dwuwarstwowej, ale nie miałyby to sensu, bowiem na płycie wyjściowej jest określona ilość informacji i można ją powielić lub tylko zmniejszać redukując tym samym jakość obrazu. Jej zwiększenie skutkuje zwiększeniem objętości danych, lecz nie jakości obrazu.

Uwaga końcowa jest najważniejsza – we wszystkich tych przypadkach były to format zapisu MPEG, w praktyce ten sam typ plików – \*. Vob (Video Object). Powyższe wyjaśnia zagadnienie różnych stopni kompresji w praktyce.

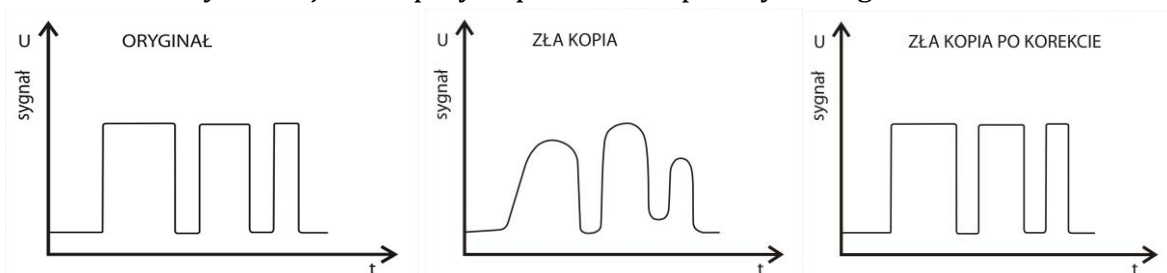
Opisany powyżej proces digitalizacji telewizyjnego sygnału wizyjnego zawiera pewne uproszczenia. Konstrukcja tych uproszczeń nie skutkuje powstawaniem błędów, nie obciąża też negatywnie prezentacji niezwykle skomplikowanej teorii sprowadzonej do przedstawienia jej podstawowych idei.

W analogiczny sposób, poniżej zilustrowana jest główna cecha „rewolucyjności” systemu cyfrowej telewizji – możliwość wykonywania dowolnej liczby kopii z zapisanego oryginału w porównaniu z systemem analogowym.

Idea utraty jakości przy kopiowaniu zapisu analogowego:



Idea utrzymania jakości przy kopiowaniu zapisu cyfrowego:



Korekcja sygnału analogowego w kopii jest praktycznie niemożliwa. Ponieważ sygnał jest ciągły i w danej jednostce czasu może – w zależności o szczegółów obrazu – przybrać „nieskończoną” liczbę wartości. Kopiowanie powoduje degradację kontrastu i spadek ostrości. Sygnał cyfrowy ma tylko dwie wartości – „0” i „1”, dlatego stosunkowo prosto można go korygować, gdyż wszystko, co jest większe od „0” jest „1”.

Zalety systemu cyfrowego w porównaniu z systemem analogowym nie dotyczą tylko możliwości wykonywania bezstratnych kopii. Niezwykle ważną cechą jest



możliwość edycji nieliniowej – dzięki istnieniu metadata (m.in. do poszczególnych klatek przypisany jest kod czasowy), montaż odbywa się poprzez „pracę na adresach”. Jest z tego powodu niezwykle funkcjonalny, umożliwia dowolne ilości powrotów do poszczególnych sklejek i przesuwania ich z dokładnością do jednej klatki, ustawiania dowolnie długich przenikań, zakładania „roletek”, itp.. Dzieje się tak, gdyż w praktyce montowany materiał nie jest na etapie montażu „cięty” – sklejki powstają na etapie zapisu ostatecznej wersji i wytworzenia master kopii.

Problem zwiększania definicji obrazu wydaje się nie mieć końca. Od kilku lat trwa ekspansja koncernów oferujących nowe rozwiązania technologiczne. Przykładem może być High Definition TV, która, co ciekawe, nie jest zagadnieniem nowym... Amerykańska przygoda Zbigniewa Rybczyńskiego przebiegała we współpracy z koncernem Sony wdrażającym wówczas analogową telewizję wysokiej rozdzielczości. Wyścig trwa, po High Definition TV rynek oferuje Ultra High Definition TV z rozdzielczością w poziomie rzędu 4 000 pikseli. Czy jest to spowodowane troską o widza, któremu dostarcza się lepszego obrazu, czy jest rezultatem polityki handlowej realizowanej przez koncerny? Można jednak postawić hipotezę, że nie mają te zmiany charakteru rewolucji technologicznej, tej miary jak przejście na zapis cyfrowy.

Uwaga techniczna – ponieważ tekst powyższy nie jest interpretacją a tylko relacją tytułowej problematyki, nie ma również charakteru polemicznego, w związku z czym, nie posiada odsyłaczy w tekście. Poniżej wykaz źródeł wykorzystanych przy jego redakcji.

## BIBLIOGRAFIA

- Czyżewski Stefan, *Technologiczne uwarunkowania definicji obrazu w technologiach video. Część I Obraz analogowy*. „Kamera. Film & Tv”, nr 1/2004 (10).
- Czyżewski Stefan, *Technologiczne uwarunkowania definicji obrazu w technologiach video. Część II Obraz cyfrowy*. „Kamera. Film & Tv”, nr 2/2004 (11).
- Barclay Steven, *The Motion Picture Image. From Film to Digital*. Focal Press, Boston, Oxford, Auckland, Johannesburg, Melbourne, New Delhi 2000.
- Digital Vision. Grading. Finishing. Masterin. Restoration*. [www.digitalvision.se](http://www.digitalvision.se), Sweden, USA, United Kingdom, Hong Kong.
- European Broadcasting Union Technical Review. Special Supplement 1998*, Editeur Responsible: P.A. Laven, European Broadcasting Union, Society of Motion Picture and Television Engineers. Geneva 1998.
- Falk David, Brill Dieter, Stork David, *Seeing the Light. Optics in Nature. Photography, Color, Vision, and Holography*. Harper & Row, Publishers. New York, Cambridge, Philadelphia, San Francisco, London, Mexico City, Sao Paulo, Singapore, Sydney 1986.
- Goodman Robert M, *Goodman's Guide to the Panasonic SDX900*. AMGMedia Publisher, USA 2005.
- Horton Mark, Mumby Clive, Owen Steve, Pank Bob, Peters Danny, *On-Line Non-Linear Editing*. Quantel Ltd. 1997.
- Informacja obrazowa. Własności i detekcja promieniowania e-m. psychologia widzenia. Przetwarzanie obrazów*, red. Ostrowski Marek. Kopystyńska Aleksandra, *Promieniowanie elektromagnetyczne*; Petrykiewicz Jan, Mikołajczyk Małgorzata, *Zjawiska falowe w optyce. Optyczne układy obrazujące*; Rosiński Kazimierz, *Rola detektorów w układach obrazujących i analizatorach promieniowania*; Rosiński Kazimierz, *Detektory fizyczne*; Zaleski Adam, Jabłonka Stanisław, *Detektory chemiczne*; Jabłonka Stanisław, *Barwa i metody wyrażania bodźców barwowych*; Ostrowski Marek, *Detektory biologiczne*; Młodkowski Jan, *Psychologiczne aspekty przetwarzania informacji wizualnej*; Młodkowski Michał, *Przetwarzanie cyfrowe i analiza obrazów*; Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 1992.
- Invisible Post Production. Episodic Effects For Television*, A Special Supplement of Clips Magazine, Quantel Ltd. [www.quantel.com](http://www.quantel.com).
- Kindler-Jaworska Elżbieta, *Przewodnik po telewizji cyfrowej*, TVP S.A. Ośrodek Szkolenia – Akademia Telewizyjna. Warszawa 2000.
- Kowalik Maciej, *Analogowe sygnały wizyjne PAL i komponent. Materiały szkoleniowe*, Ośrodek Szkolenia i Analiz Programowych TVP S.A. Zespół Szkoleń Technicznych. Warszawa, październik 1999.
- Kulikowski Juliusz Lech, *Informacja i świat w którym żyjemy*, Wiedza Powszechna. Warszawa 1978
- Kurek Tadeusz, *Realizacja programów telewizyjnych*, Wydawnictwa Radia i Telewizji. Warszawa 1980.

- Miszczak Stanisław, *Teoretyczne zasady reżyserii dźwięku w radiofonii i telewizji*, Wydawnictwa Radia i Telewizji. Warszawa 1976.
- MPEG-2. *Encyklopedia* [www.mpeg-2.net](http://www.mpeg-2.net). *The Complete Guide To MPEG-2 and Related Terminology*, red. Turcotte Samuel, MediaWare, Sun Microsystems, Vision Tech. Canberra, Palo Alto, Herzliya 1999.
- Neyman Yuri, Riviere Sacha, in collaboration with Steen Russell, *Your Dailies Choice: Through Control System (T.C.S.)™, Cinematographer's Control Chart "GAMMA=1c". User Manual*. GAMMA & DENSITY Co., Inc.
- Realizacja obrazu filmowego i telewizyjnego*, Zeszyt 25, red. zeszytu: Nowicki Marek. Wydawnictwa Radia i Telewizji. Warszawa 1980.
- Soft Machines and the Cinematographic Imaginary. Nowe media i film*. Międzynarodowa konferencja, Media Desk Polska, Centrum Sztuki WRO, Plus Camerimage. Łódź 2007.
- The Digital Fact Book. A reference manual for the broadcast TV & post production industry; red. Pank Bob; Edition 8; Quantel Ltd. 1988, 89, 90, 91, 92, 94, 96
- Throup David, *Film in the Digital Age*. Quantel Ltd 1996.
- Uhma Marek, *Elementy technologii telewizyjnej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2007.
- Walczyk Jan, *Podstawy systemów telewizji użytkowej*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1982.
- Wybrane zagadnienia techniczne TV-kolorowej*, red.: mgr inż. Cz. Klimczewski, Biuro Kadr i Szkolenia Wydział Szkolenia i Doskonalenia Zawodowego. Warszawa 1971.
- Wysocka Elżbieta, *Wirtualne ciało sztuki. Ochrona i udostępnianie dzieł audiowizualnych*, Narodowe Centrum Kultury. Warszawa 2013.