

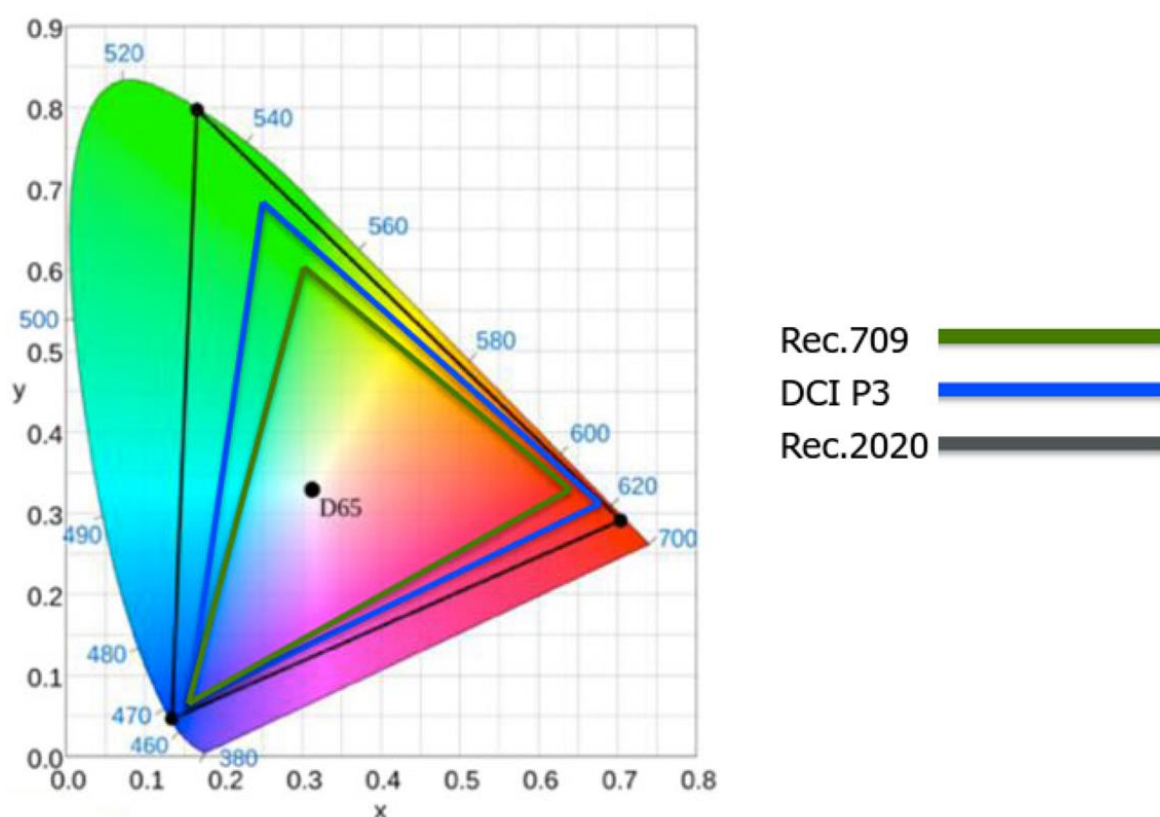
# 1. TEORIA

## 1.1. STANDARDY WIDEO WYSOKIEJ JAKOŚCI

Za wysoką jakość obrazu przyjmuje się obecnie obraz zgodny z rekomendacją ITU-R BT.709 z 1990 roku, która określa standardy sygnału wideo dla formatu HDTV. HDTV staje się obecnie standardem w telewizji komercyjnej wypierając SDTV definiowany w rec.601. Główną zmianą pomiędzy standardami jest wprowadzenie stałego formatu obrazu 16:9 w rozdzielczości 1080i/p w miejsce 4:3 (lub później 16:9) w rozdzielczości 576i czy 480i. Obecnie wprowadza się na rynek urządzenia spełniające standard określony w rekomendacji rec.2020 powiększając rozdzielczość do 4k i 8k, a także znacznie rozszerzając dostępne pole trójkąta dostępnych barw na wykresie chromatyczności CIE XYZ, a także rec.2100, w której zdefiniowano dodatkowe parametry HDR (high dynamic range). Powstałe w ramach pracy środowisko jest przystosowane do odtwarzania wideo w jakości UHD w rozdzielczości 4k.

## 1.2. PRZESTRZENIE BARW

Przestrzeniami barw nazywamy modele matematyczne pozwalające na odwzorowanie barwy nie poprzez podanie jej widma, a przez model matematyczny. Standardowe modele przestrzeni barw są ujęte w normach międzynarodowych takich jak publikacje ITU (*International Telecommunication Union* - Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny). W rekomendacji ITU-R dotyczących jakości obrazu przestrzeń barw określa się poprzez podanie współrzędnych chromatycznych w przestrzeni CIE 1931 (zdefiniowanej przez International Commission on Illumination - CIE w 1931) trzech punktów, będących odwzorowaniem kolorów podstawowych przestrzeni RGB (czerwony, zielony, niebieski). Realizacja standardu polega na umożliwieniu urządzeniu wyświetlenia wszystkich barw znajdujących się wewnątrz wyznaczonego między punktami trójkąta. Im większe pole trójkąta wyznaczonego przez odcinki łączące wierzchołki tym szerszą przestrzeń dostępnych barw dysponuje urządzenie. Na poniższym rysunku możemy zauważyć trójkąty wyznaczone w przestrzeni CIE 1931 dla poszczególnych standardów. Możemy zaobserwować, że Rec.2020 wypełnia 75,8% przestrzeni, a rec.709 tylko 35,9%. Tabela przedstawia skrajne punkty określone w rekomendacjach ITU-R rec.709 i rec.2020.



Rysunek 1 Rekomendacje ITU w przestrzeni barw CIE

	Rec. 709	Rec.2020
--	----------	----------

Współrzędne chromatyczne	x	y	x	y
Podstawowa czerwień (R)	0,640	0,330	0,708	0,292
Podstawowa zieleń (G)	0,300	0,600	0,170	0,797
Podstawowy niebieski (B)	0,150	0,060	0,131	0,046
Punkt bieli (D65)	0,313	0,329	0,313	0,329

*Tabela 1 Punkty podstawowe przestrzeni barw z rekomendacji ITU*

### 1.3. SUBIEKTYWNA JAKOŚĆ VIDEO - MOS

Jakość to miara doskonałości. W przypadku wideo możemy wyróżnić jakość obiektywną oraz subiektywną. Jakością obiektywną nazywamy jakość mierzalną czyli taką którą da się opisać za pomocą równań czyli parametrów liczbowych. Jej zaletą jest niezależność od czynników ludzkich natomiast ta sama łatwość może również stanowić problem. Wideo obiektywnie dobrej jakości może tak naprawdę wyglądać źle ze względu na fakt, iż ludzkie oczy są różne, podobnie jak różne są reakcje ludzi na poszczególne bodźce, dlatego też stosuje się testy subiektywne. Jakość subiektywna polega na ocenie wyników testów poprzez metody statystyczne. Wyniki testów przeprowadzanych na grupie badanych możemy np. uśredniać. Liczbową ocenę subiektywnej jakości wideo określamy mianem subiektywnego współczynnika jakości (*Mean Opinion Score – MOS*). Zasady określania współczynnika zostały unormowane przez ITU.

### 1.4. TESTY SUBIEKTYWNE

Testy subiektywne wykonuje się według określonych standardowych reguł opisanych w publikacjach Sektora Normalizacji Telekomunikacji ITU. Najnowsze normy ITU-T P.913 określają m.in. kształt pomieszczenia, kolory ścian i podłóg, odpowiednie ustawienie sprzętu czy oświetlenia, a także wiele norm technicznych czy sposobów doboru badanych osób. Istnieje wiele metod przeprowadzania testów subiektywnych. Metody przeprowadzania testów opisane w rekomendacjach ITU, a także w artykułach naukowych, są tylko rekomendowanymi metodami, podmiot zlecający przeprowadzanie testów może łączyć i modyfikować testy, nadawać wybrane przez siebie skale ocen czy planować własne scenariusze testowe, jednakże takie zachowanie musi mieć określony z góry cel.

Eksperymenty należy projektować pod konkretny cel. Cel należy obrać jeszcze przed rozpoczęciem testu. Początkowo należy dobrać odpowiednią długość testu. Długość testu musi wynikać z kompromisu pomiędzy czasem testerów, a oczekiwanym wynikiem. Przyjmuje się, że wszystkich sekwencji nie powinna być dłuższa niż 20 minut a cały test wraz z ocenianiem nie powinien być dłuższy niż godzina. Wynika to z faktu, iż przeciętny człowiek nie jest w stanie skupić się przez dłuższy okres czasu nie posiadając do tego dodatkowej lub własnej motywacji. Udział w badaniach możemy wynagradzać. Możemy również zwiększać różnorodność sekwencji źródłowych. Następnie należy

skupić się na przygotowaniu środowisku, pozyskaniu grupy testerów, a także wyborze metody przeprowadzania testu. W poniższych podrozdziałach przedstawiono wybrane scenariusze testów subiektywnych, a także podstawowe wymagania i normy, o których mówi rekomendacja. Istotne aspekty przeprowadzonego eksperymentu zostaną opisane w dalszej części pracy.

#### 1.4.1. ŚRODOWISKO TESTU

W rekomendacji ITU-R P.913 wyróżnione zostały dwa rodzaje pomieszczeń (nazywanych tutaj środowiskiem w odróżnieniu od reszty pracy gdzie za środowisko przyjmuje się zarówno pomieszczenie sprzęt, jak i oprogramowanie) przeprowadzania testów. Dopuszczono środowisko kontrolowane (laboratoryjne), a także środowisko publiczne. Środowisko należy opisać w raporcie, należy także wziąć pod uwagę ilość testerów w każdym ze środowisk.

Środowisko kontrolowane to cichy i wygodny pokój przygotowany specjalnie do przeprowadzania tego typu eksperymentów, w którym nie powinni znajdować się ludzie niebiorący udziału w eksperymencie. Przyjmuje się, że tradycyjne środowisko laboratoryjne demonstruje testerom profesjonalizm organizującego testy. Zakłada się następujące wymagania co do kształtu pomieszczenia laboratoryjnego:

- Gładkie białe ściany
- Neutralna podłoga w nierozpraszkającym kolorze tradycyjnie szarym
- Brak niekoniecznych mebli
- Odpowiedni dystans od monitora. Minimum 3 wysokości ekranu dla *FHD* i minimum 1.5 wysokości dla *UHD*.
- Idealna cisza
- Możliwie jak najlepszy monitor spełniający kryteria testu

W rekomendacji P.913, jako przykłady podaje się pomieszczenia takie jak laboratorium czy dźwiękoszczelny pokój, a także pokoje stylizowane do eksperymentu na sale konferencyjną, biuro czy domowy salon.

Środowisko publiczne to właściwie dowolne miejsce, w którym mogą znajdować się osoby nieuczestniczące w eksperymencie. Za takie środowisko przyjmuje się również pomieszczenie, w którym celowo umieszcza się źródła światła czy dźwięku powodujące rozproszenie uwagi testera.

#### 1.4.2. TESTERZY

Populacja testerów ma bardzo duży wpływ na ostateczne wyniki testów. Zaleca się, aby grupa testerów była jak najbardziej różnorodna. Jeżeli nie jest to narzucone w specyfikacji test zaleca się równy rozdział testerów według płci, zróżnicowanie względem wieku. Zakłada się, że test powinien być przeprowadzany na całej populacji. Ze względu na fakt, że jest to bardzo trudne lepiej przeprowadzić test na grupie, dla której skierowany jest dany produkt np. testowanie aplikacji udostępniającej wideo na portalu internetowym lepiej przeprowadzać na ludziach młodszych, którzy z takiej aplikacji będą korzystać.

#### 1.4.3. ACR (ABSOLUTE CATEGORY RATING)

Najbardziej oczywistą i najłatwiejszą metodą testów jest ACR. Metoda ta polega na naprzemiennym wyświetlaniu i ocenianiu kolejnych sekwencji wideo. W rekomendacji P.913 zaproponowano następującą skalę oceniania sekwencji (tłumaczenie własne).

ACR		
5	Doskonała	Excellent
4	Dobra	Good
3	Przeciętna	Fair
2	Słaba	Poor
1	Zła	Bad

#### 1.4.4. DCR(DEGRADATION CATEGORY RATING)

Metoda polega na odtwarzaniu filmów w parach, gdzie pierwszy z filmów to film referencyjny, a drugi jest produktem przetworzenia w określony sposób – mający na celu pogorszyć jakość w określonym przez twórcę testu stopniu. Test daje mniej wyników niż ACR w tym samym czasie ze względu na fakt, iż jedna ocena przypada na parę filmów. W rekomendacji ITU-R P.913 została przedstawiona skala pięciostopniowa określająca jak duże zakłócenia zostały wprowadzone w drugim z filmów w odniesieniu do pierwszego. Została ona podana w tabeli poniżej (tłumaczenie własne).

DCR		
5	Niezauważalne	Imperceptible
4	Zauważalne, ale nie uciążliwe	Perceptible but not annoying
3	Trochę irytujące	Slightly annoying
2	Irytujące	Annoying
1	Bardzo irytujące	Very annoying

#### 1.4.5. CCR (COMPARISON CATEGORY RATING)

CCR to metoda polegająca na prezentacji sekwencji w parach. Dwie wersje tego samego filmu prezentuje się jedną po drugiej w dowolnej kolejności przy zachowaniu tego samego czasu prezentacji obu sekwencji. Metodę można stosować tak jak DCR do prezentacji wideo referencyjnego i po zmianach, a także do porównania dwóch zmienionych sekwencji. Posiada ona skalę porównawczą znacznie różniącą się od wcześniej opisanych metod. Jest to zgodnie z zaleceniem skala siedmiostopniowa zaprezentowana poniżej.

CCR/PC		
-3	Zdecydowanie gorsza	Much worse
-2	Gorsza	Worse
-1	Trochę gorsza	Slightly worse
0	Taka sama	The same
1	Trochę lepsza	Slightly better
2	Lepsza	Better

3	Zdecydowanie lepsza	Much better
---	---------------------	-------------

#### 1.4.6. IMPLEMENTACJA I PRZEBIEG TESTÓW

Szczegóły dotyczące przebiegu testów, a także dotyczące implementacji środowiska, konstrukcji interfejsu użytkownika, a także uwag i doświadczeń zostały przedstawione na przykładzie przeprowadzanego eksperymentu w dalszej części pracy.

### 1.5. SEKWENCJE VIDEO

Ponieważ, człowiek z natury dąży do uzyskania jak najlepszej jakości w każdym aspekcie życia filmy źródłowe (*SRC*) to filmy wideo nieskompresowane o możliwie najlepszych parametrach głębi, przepływności (*bitrate*) i o wysokiej liczbie klatek na sekundę. Z filmu wycina się fragment około 10 sekund nazywany dalej sekwencją. Filmy te kompresuje się ze zmienioną przepływnością celem sztucznego pogorszenia jakości sekwencji do porównania, a następnie ponownie dekompresuje. Uzyskane wideo wysokiej jakości zajmuje bardzo dużo przestrzeni dyskowej co stanowi dodatkowy problem.

Jedna sekunda sekwencji składa się standardowo z od 24 do 60 klatek (w zależności od ilości klatek na sekundę – *fps* w filmie źródłowym). W przypadku rozdzielczości UHD, czyli  $4096 \times 2160$  i standardowo 8 bitach na kolor ilość danych konieczna do załadowania pojedynczej nieskompresowanej sekundy takiego filmu jest tak duża, że przekracza możliwości odczytu danych z najszybszych dostępnych na rynku dysków *SSD*. Dlatego też stosuje się ogranicza się parametry próbkowania chrominancji pogarszając jakość, jednakże pozwalając na odtwarzanie z dysku. Poza czasem odczytu z dysku problematyczna staje się również jego pojemność. Dziesięciosekundowa nieskompresowana sekwencja ze strukturą próbkowania 4:2:0 w rozdzielczości UHD przy 25 kl/s zajmuje około 3.5 GB przestrzeni dyskowej.

### 1.6. SPRZĘT

Środowisko testowe to nie tylko oprogramowanie, ale także odpowiedni sprzęt pozwalający na odtwarzanie nieskompresowanych sekwencji wideo wysokiej rozdzielczości. Aby wyświetlać obraz najwyższej jakości w rozdzielczościach FHD czy UHD konieczne są karty graficzne z najwyższej półki. Kierując się kryterium szybkości przetwarzania obrazu twórcy środowisk testowych stosują karty graficzne najpopularniejszych producentów wybierając produkty dla graczy. Od sprzętu dla gracza komputerowego wymaga się najwyższej szybkości ze względu na konieczność renderowania grafiki 3D. Na rynku kart graficznych istnieje bardzo silna rywalizacja o klienta pomiędzy wiodącymi markami, co

powoduje obniżenie ceny i podniesienie jakości produktu. Dzisiejsze karty graficzne pozwalają na wyświetlanie obrazu w rozdzielczości 4k zachowując pełną płynność obrazu. Rozsądny koszt takiej karty waha się granicach 700 - 1400zł (stan na maj 2017).

Odtwarzania wideo wymaga także wielowątkowego procesora, jednakże moc obliczeniowa jednostki CPU nie jest aż tak istotna ze względu na problem z prędkością odczytu danych. Analizując proces odtwarzania nieskompresowanych sekwencji wideo nasuwa się wniosek, iż najwolniejszym elementem procesu jest dysk komputera. Pomimo wprowadzenia na rynek dysków półprzewodnikowych SSD, które osiągają nawet 1000x mniejsze czasy dostępu do danych niż klasyczne dyski HDD, pozwalają one na uzyskanie prędkości odczytu około 530 MB/s, co jest wartością graniczną dla sekwencji UHD nie pozwalając na płynne wczytywanie sekwencji z strukturą próbkowania chrominancji 4:4:4. Dlatego też dla przeprowadzania testów wideo subiektywnych w rozdzielczości większej niż 4k (8k czy 16k) konieczne jest wprowadzenie na rynek nowego nośnika danych, bądź wstępna kompresja sekwencji. Ze względu na wzrost światowych cen dolara w lutym 2017 cena 1GB przestrzeni dyskowej SSD wynosiła około 2 zł, obecnie (stan na maj 2017) cena ta spadła do około 1,6 zł, a ze względu na wprowadzenie na rynek dysków o pojemności 1TB przez niemal wszystkich producentów notuje się ciągły spadek ceny. Jeśli chodzi o nośniki szybsze niż SSD firma Intel wprowadza na rynek technologie Intel Optane pozwalającą zgodnie z zapowiedzią uzyskiwać dostęp do danych szybciej niż w przypadku klasycznych dysków SSD jednakże rozwiązanie dopiero debiutuje i nie było dostępne do przetestowania dla autorów pracy.




Do wyświetlania obrazów poza odtwarzaczem (w przypadku testów subiektywnych jest to najczęściej komputer) konieczny jest również monitor. Przeprowadzono analizę rynku dostępnych monitorów pod kątem wyświetlania wysokich standardów jakości obrazu. Poszukiwano monitorów lub telewizorów pozwalających na wyświetlanie wideo w rozdzielczości 4k, wspierających technikę HDR i pozwalających na wyświetlanie obrazów w poszerzonej przestrzeni barw zgodnej z rec.2020 (ITU-R Recommendation BT.2020). Zwrócono uwagę na różne typy dostępnych urządzeń od zwykłych domowych telewizorów po monitory studyjne. Poniższa tabela prezentuje wybrane urządzenia wraz z orientacyjnymi cenami, typem urządzenia, a także procentem pokrycia przestrzeni rec.2020. Wszystkie wymienione urządzenia wyświetlają obraz w rozdzielczości 4k.




*Rysunek 2 Monitor Eizo*

Eizo CG248-4K 31"



77% rec. 2020
Profesjonalny monitor
9999 zł
 <p><i>Rysunek 3 Telewizor Samsung</i></p>
Samsung Class Q7F QLED 55"
77.19% rec.2020
Telewizor
2499 \$ ~ ok. 9300 zł
 <p><i>Rysunek 4 Telewizor LG</i></p>
LG B6 OLED 4K 65"
75.89 % rec.2020
Telewizor
1999 \$ ~ 7400 zł
 <p><i>Rysunek 5 Monitor Asus</i></p>
Asus ProArt PA32U 32"

85% rec.2020
Profesjonalny monitor
ok. 7500zł (dostępny w III kw 2017)
 <p><i>Rysunek 6 Monitor studyjny Sony</i></p>
Sony BVM-X300 OLED 30"
Rec.2020 nie w pełni
Monitor studyjny
150 751,36 zł

*Tabela 2 Lista specyfikacji urządzeń do wyświetlania obrazu*

Dla uzyskania w pełni profesjonalnego stanowiska do przeprowadzania komercyjnych testów subiektywnych w jakości UHD należałoby zastosować jeden z dostępnych na rynku monitorów studyjnych cena takiego monitora to kilkadziesiąt tysięcy złotych. W przypadku rec.2020 producenci nie wprowadzili na rynek urządzenia pokrywającego w pełni przestrzeń barw z rekomendacji. Sony nie podaje oficjalnej informacji o procencie pokrycia w swoim flagowym monitorze studyjnym, jednakże w przypadku tego produktu barierą do zastosowania na gruncie akademickim jest oczywiście cena. W przypadku tworzenia środowiska dla celów badań naukowych na uczelni należałoby wyposażać się w telewizor o możliwie jak najwyższym pokryciu poszerzonej przestrzeni barw. Telewizor posiada więcej zastosowań i ma lepszy stosunek ceny do wielkości niż profesjonalny monitor. Większe kąty widzenia monitora są niepotrzebne w przypadku przeprowadzania testów, w których tester siedzi centralnie na wprost ekranu.

[https://gallery.dpcdn.pl/imgc/News/69121/g\\_-x-\\_-69121x20151227193514\\_1.png](https://gallery.dpcdn.pl/imgc/News/69121/g_-x-_-69121x20151227193514_1.png)

[https://www.ceneo.pl/Dyski\\_SSD](https://www.ceneo.pl/Dyski_SSD)

<https://www.morele.net/wiadomosc/ranking-kart-graficznych-top-10-najlepszych-kart/1204/>

<https://www.geek.com/chips/new-intel-storage-is-1000-times-faster-than-your-ssd-1629656/>

<http://www.intel.pl/content/www/pl/pl/architecture-and-technology/intel-optane-technology.html>

<http://www.rtings.com/tv/tests/picture-quality/wide-color-gamut-rec-709-dci-p3-rec-2020>

<http://www.eizo.pl/monitor/coloredge-cg248-4k/#specyfikacja>

<http://www.cyfrowe.pl/druk-montaz-edycja/monitor-eizo-cg248-4k.html>

<http://www.samsung.com/us/televisions-home-theater/tvs/qled-tvs/55--class-q7f-qled-4k-tv-qn55q7famfxza/>

<https://www.sony.pl/pro/product/broadcast-products-professional-monitors-oled-monitors/bvm-x300/specifications/#specifications>

<https://www.marcotec-sklep.pl/plpl/sony-bvm-x300-oled-monitor-7783.html>

<http://www.lg.com/us/tvs/lg-OLED65B6P-oled-4k-tv>