

Grafika komputerowa

– cyfrowa reprezentacja obrazu

Dr inż. Piotr Gronek

Wykład dla Studium Podyplomowego
„Informatyka w Szkole”

Cyfrowa reprezentacja obrazu

- Postrzeganie światła
- Modele barw
- Mechanizm wyświetlania grafiki w komputerze PC
- Reprezentacje barw i półtonów w urządzeniach komputerowych

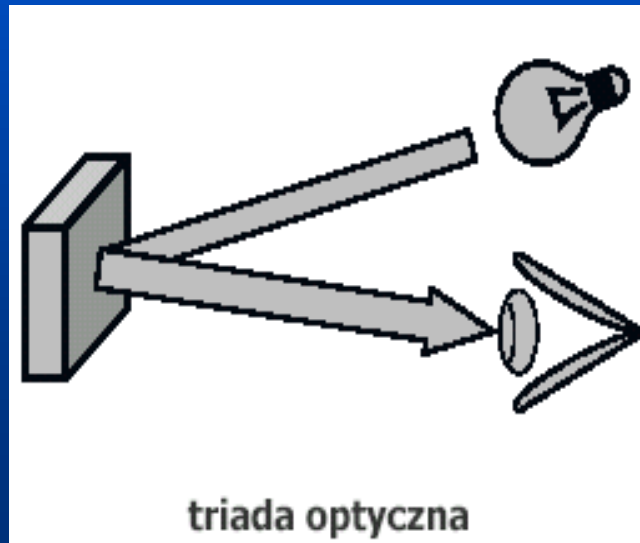
Barwa

- Właściwości światła widzialnego
- Postrzeganie światła
- Powstawanie obrazu w oku

Barwa

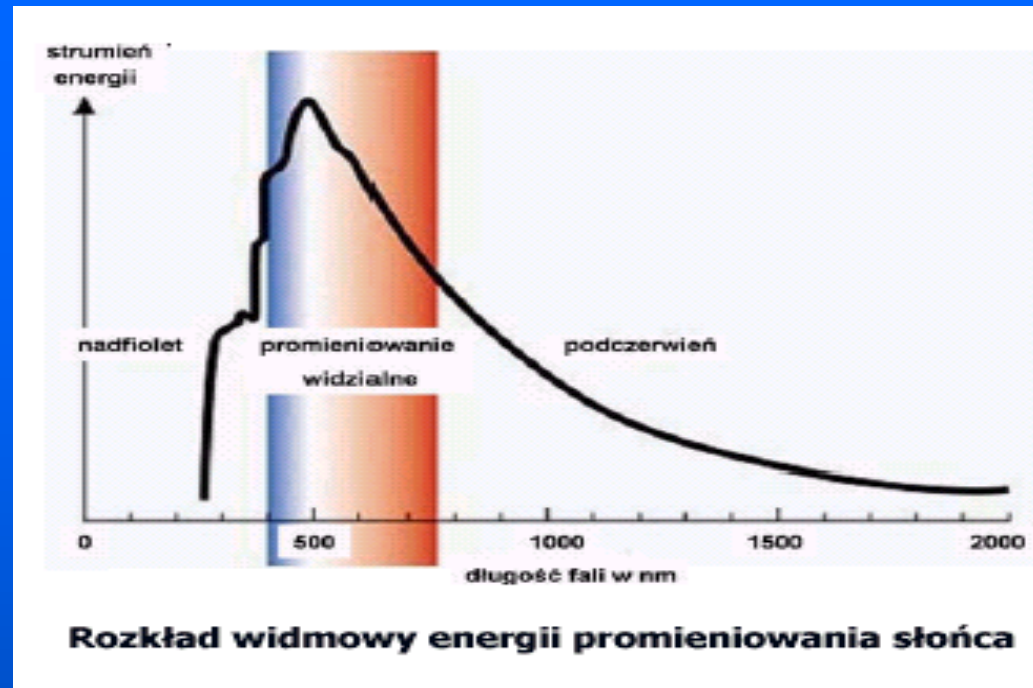
- Wrażenie zmysłowe, reakcja na odbierane przez oko światło widzialne
- Aby odbierać barwę konieczne są trzy czynniki (triada optyczna):

Źródło światła → Obiekt → Narząd wzroku

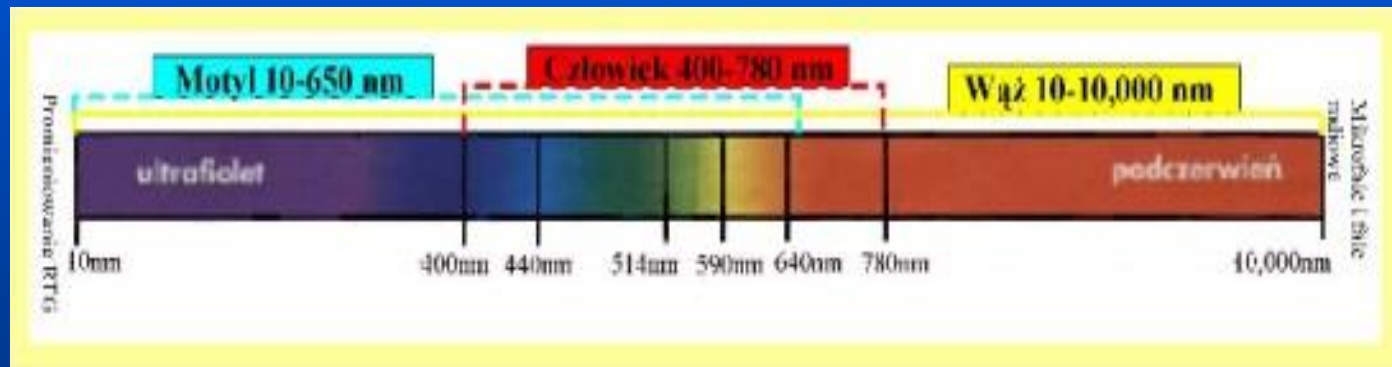


Barwa

- Światło charakteryzuje widmowy rozkład energii – funkcja $P(\lambda)$
- Światło widzialne – promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali λ od 380 do 780 nm



620-700 nm - czerwone,
570-575 nm - żółte,
495-560 nm - zielone,
470-480 nm - błękitne,
400-440 nm - fioletowe

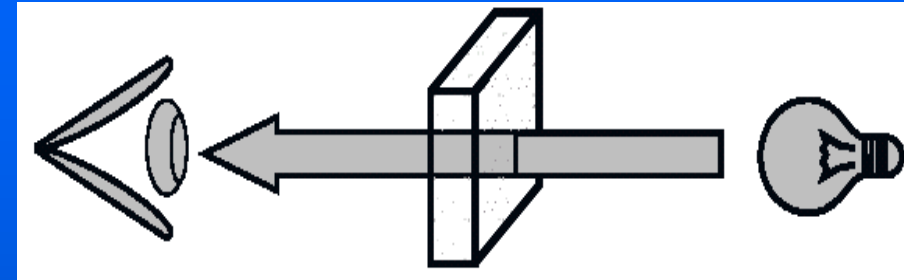


- Światło białe – zawiera fale o wszystkich możliwych długościach zakresu światła widzialnego.
- Biel równoenergetyczna – $E - P(\lambda) = const$

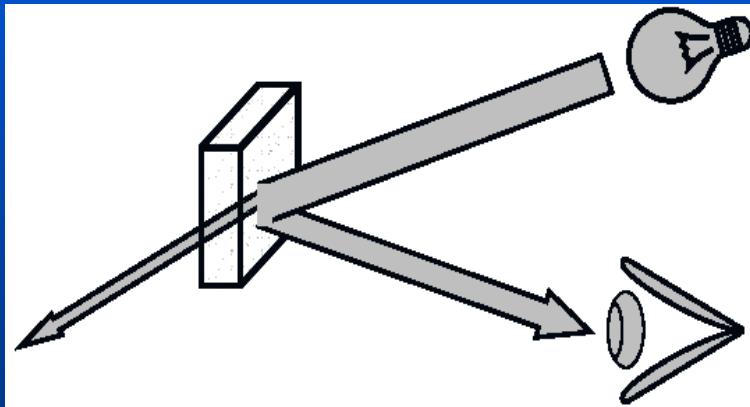
Barwa

- Wzajemne relacje składników triady optycznej

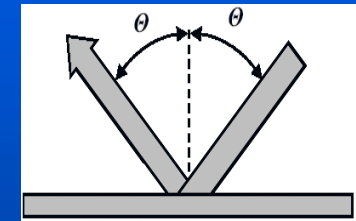
Przenikanie – opisuje współczynnik przenikalności RI (*refractive index* – stosunek prędkości światła w próżni do prędkości światła w materiale).



Odbicie



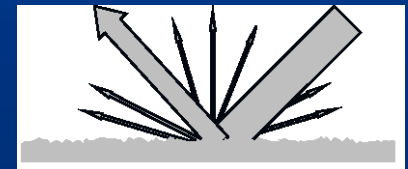
– lustrzane



– dyfuzyjne
(powierzchnia matowa)



– dyfuzyjne
i kierunkowe

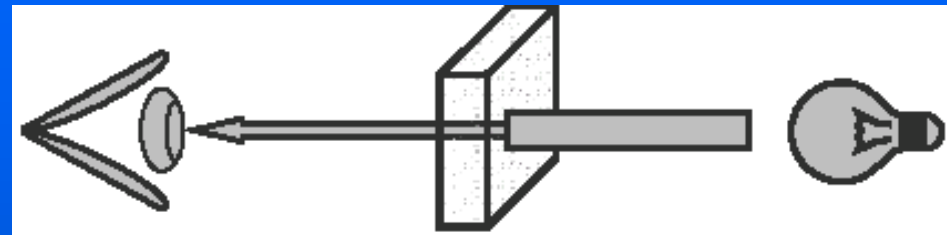


Barwa

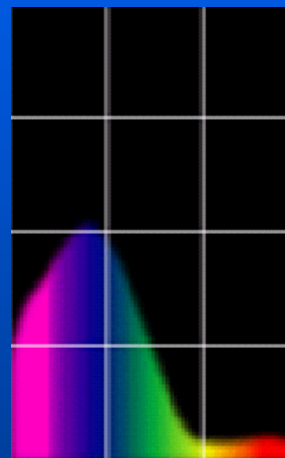
- Wzajemne relacje składników triady optycznej:

Absorpcja –

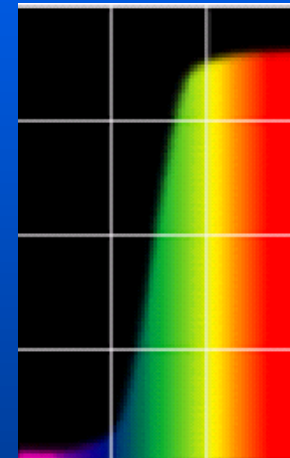
– fale o pewnych długościach są pochłaniane



Transmitancja optyczna



widmo
wyjściowe



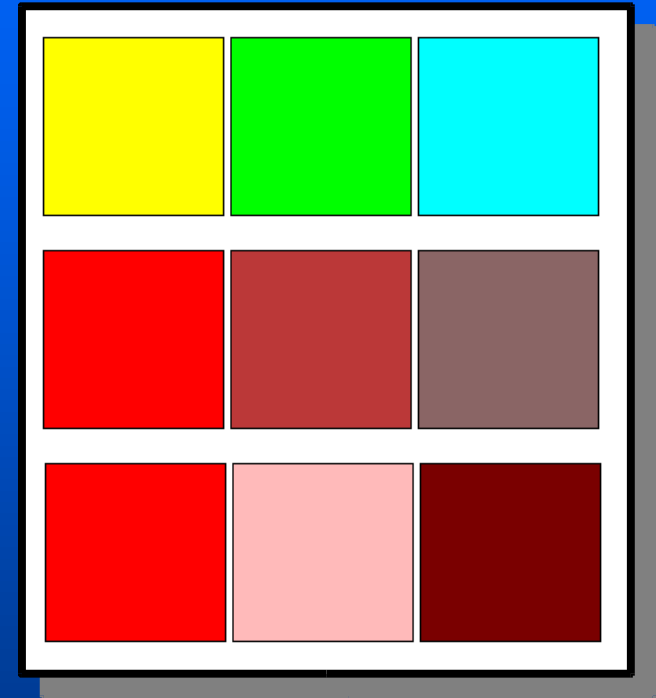
widmo
wejściowe

Atrybuty barwy:

- **Odcień** - długość fali
- **Nasycenie** - udział koloru białego w barwie
- **Jasność** - (jaskrawość) wielkość strumienia światła

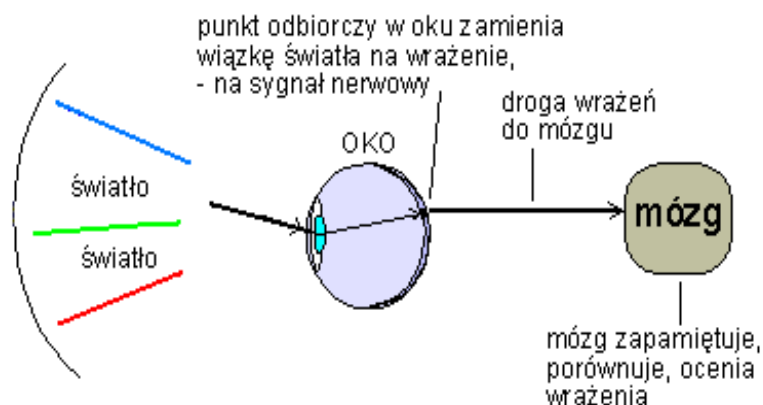
Atrybuty barwy

- **Odcień** – długość fali
- **Nasycenie** – udział koloru białego w barwie
- **Jasność** – (jaskrawość) wielkość strumienia światła

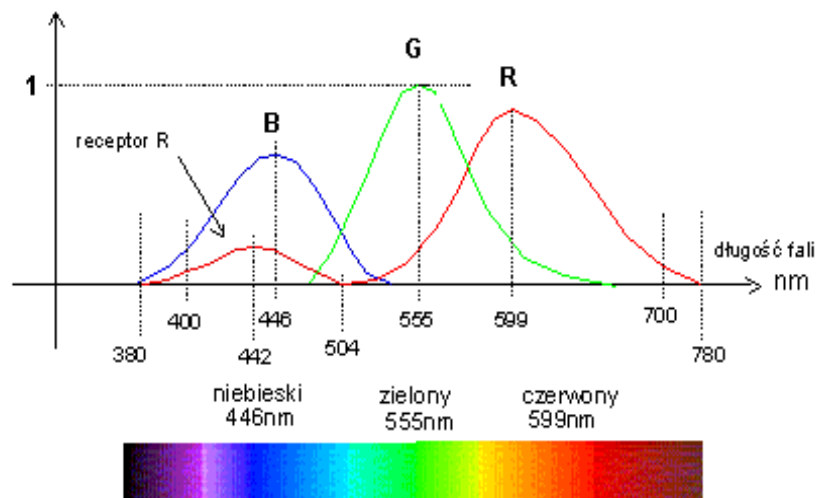


Postrzeganie światła

Model postrzegania światła

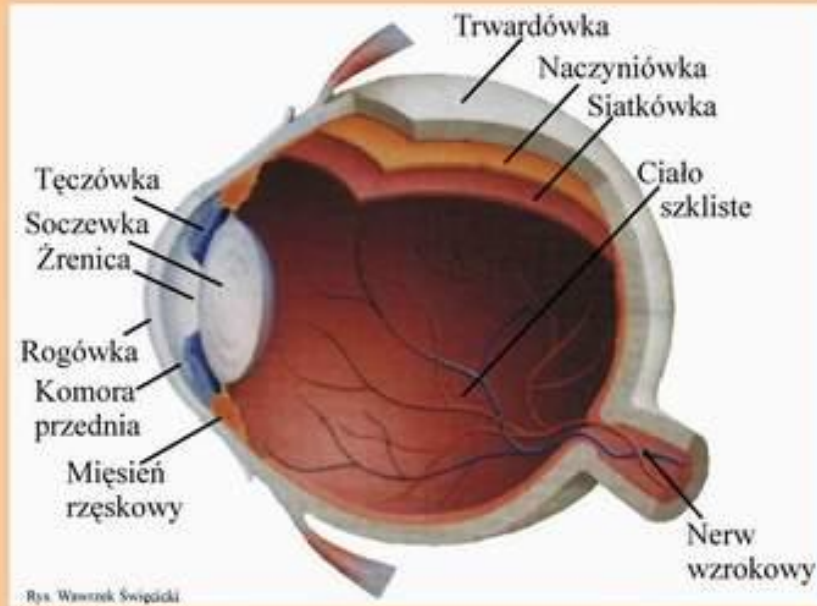


Proporcje wrażeń w receptorach na światło białe

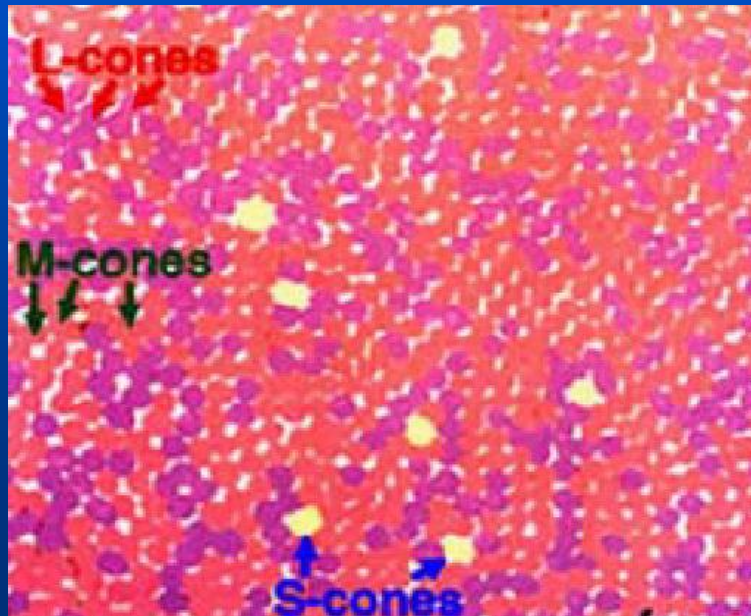


- Na siatkówce oka rozmieszczone są trzy rodzaje czujników barwnych (czopków) ze szczytową czułością na światło czerwone, zielone i niebieskie.
- To samo wrażenie wytworzone w oku może powstać w wyniku różnych konfiguracji fal świetlnych.

Postrzeganie światła



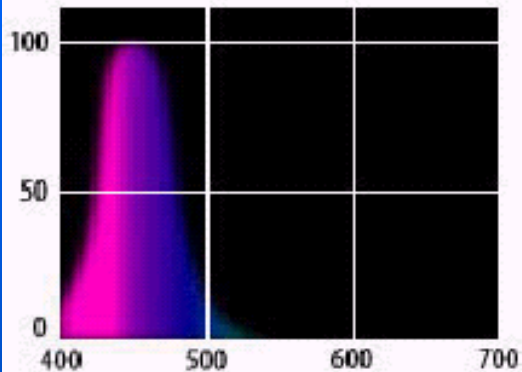
- Schemat oka



- Rozmieszczenie receptorów wzrokowych na siatkówce

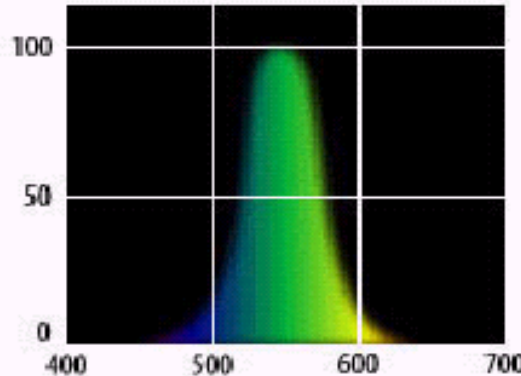
Postrzeganie światła

czopki S (niebieskie)



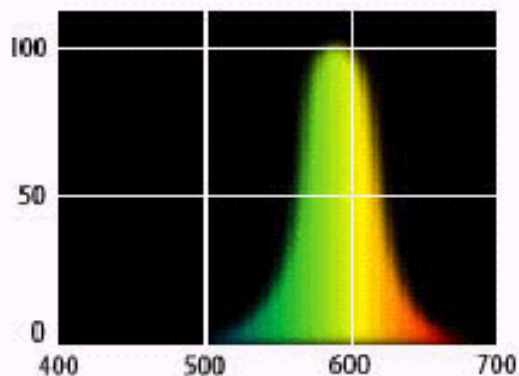
długość fali [nm]

czopki M (zielone)



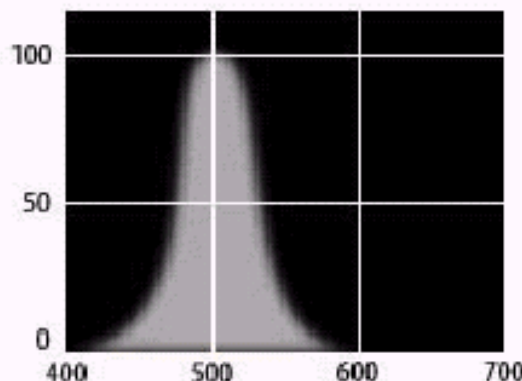
długość fali [nm]

czopki L (czerwone)



długość fali [nm]

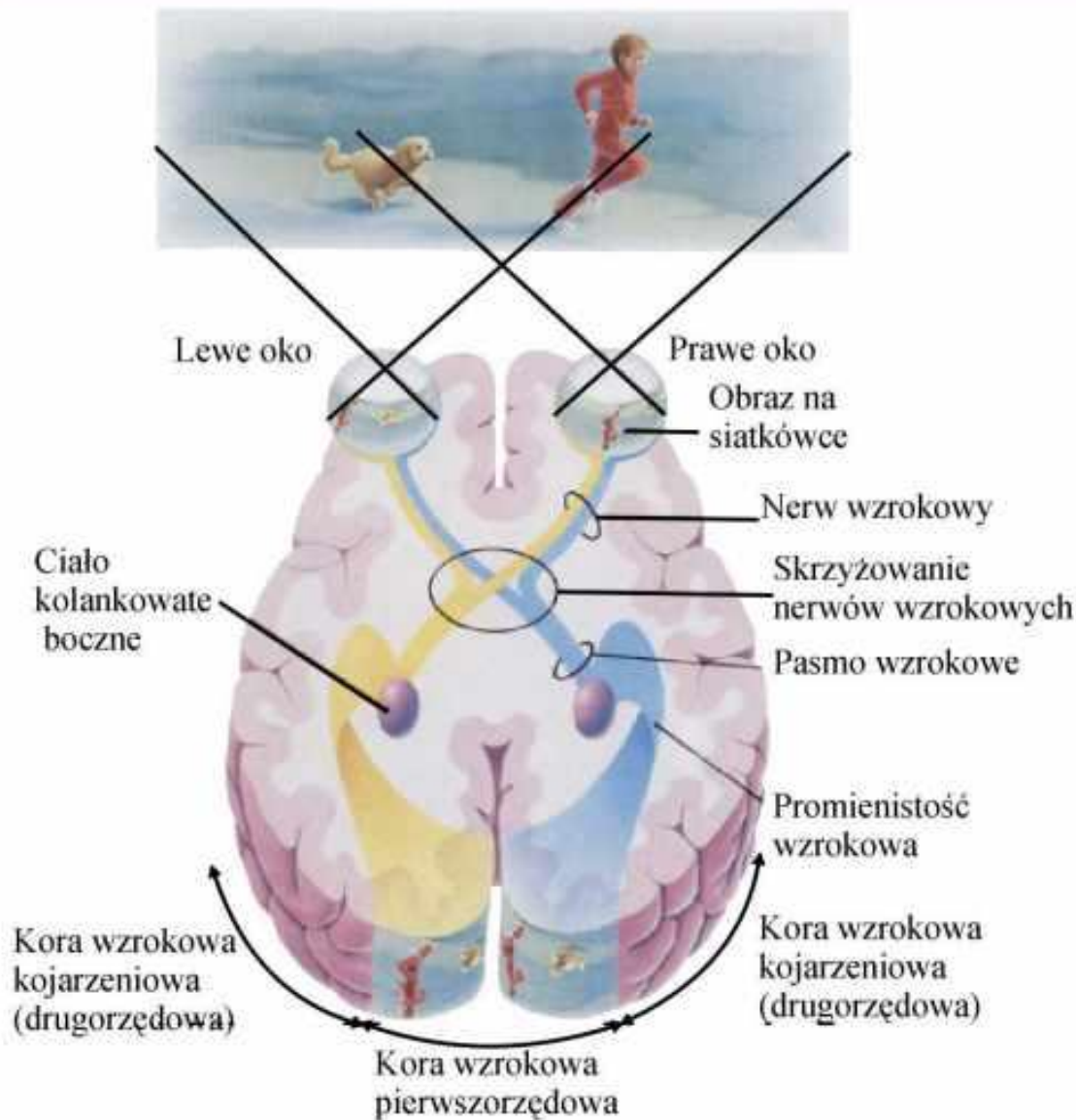
pręciki (szare)



długość fali [nm]

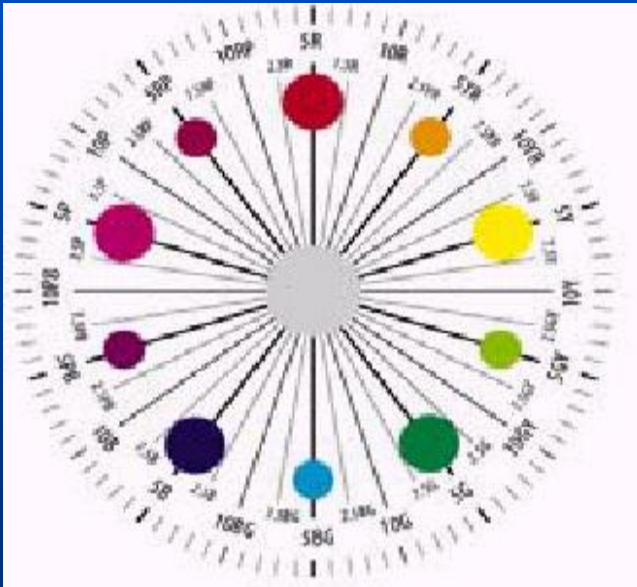
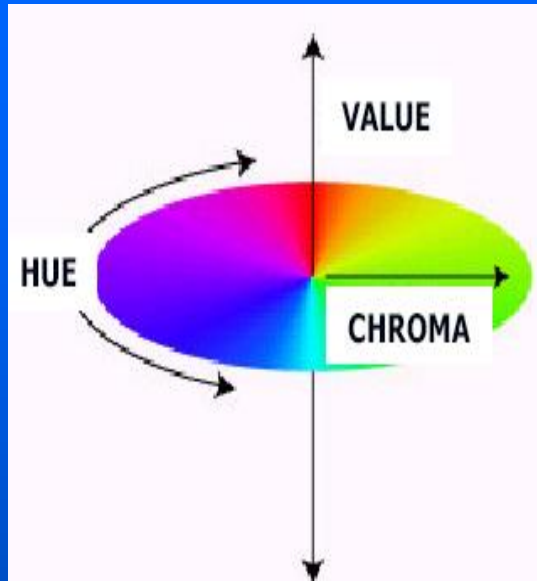
- Względna czułość czopków i pręcików

Powstawanie obrazu



Bodźce wzrokowe odbierane są poprzez receptory wzrokowe znajdujące się na siatkówce oka i przekazywane są poprzez tzw. nerw wzrokowy, do wzgórza i kory mózgowej. Najważniejsze ośrodki wzrokowe mózgu znajdują się w płacie potylicznym, w tylnej części głowy.

System Barw Munsella



Albert Henry Munsell - „A Color Notation”, 1905

Przestrzeń barw opisał przy pomocy 100 tablic barwnych:

HUE

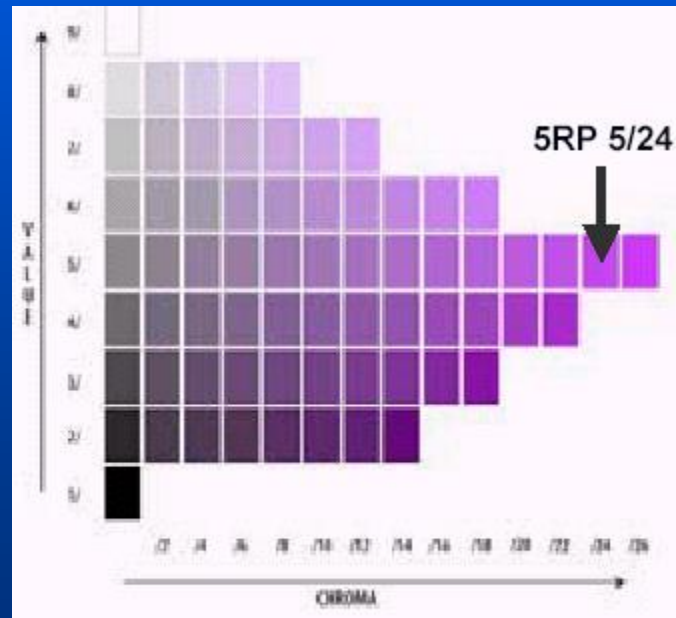
– odcień,

CHROMA

– nasycenie,

VALUE

– jasność – 9 dyskretnych poziomów od 1N do 9N określających stopień szarości.



5RP



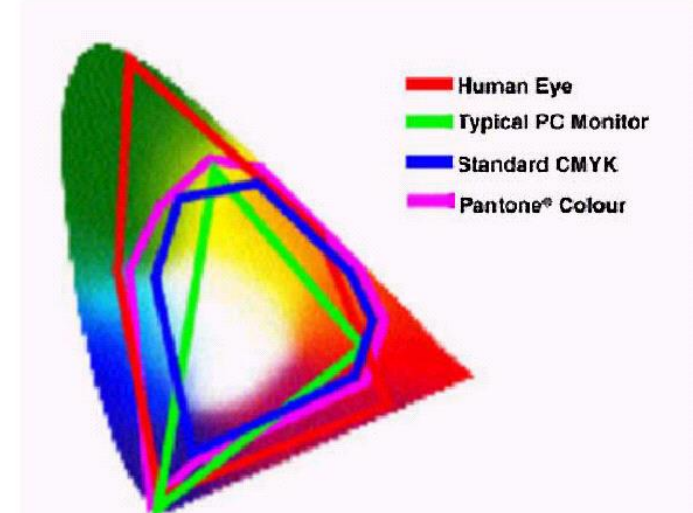
10YR

Modele barw

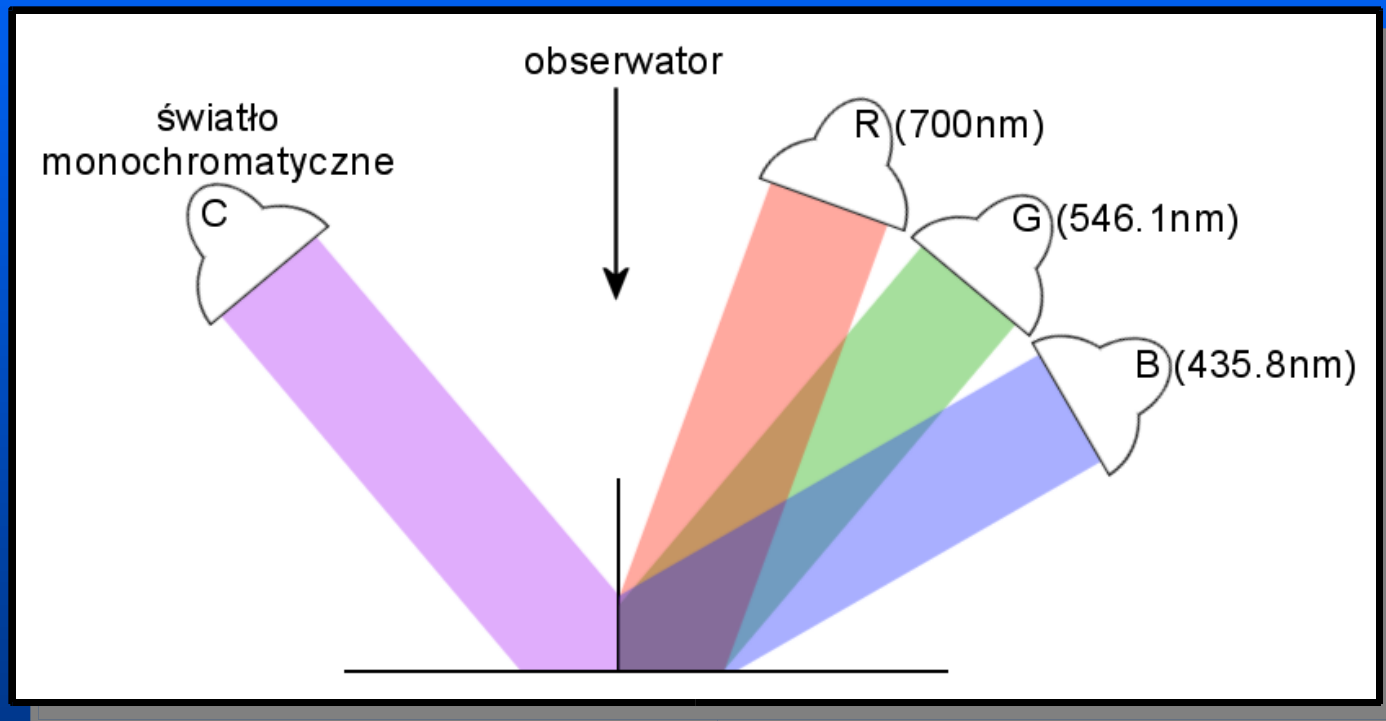
COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

- CIE XYZ (1931)
- CIE xy
- CIE Lab (1976)
- HSV (Hue, Saturation, Value)
- RGB (Red, Green, Blue)
- CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black)
- Modele telewizyjne
YUV i YIQ

Porównywanie i wzajemne transformacje przestrzeni barw różnych urządzeń graficznych

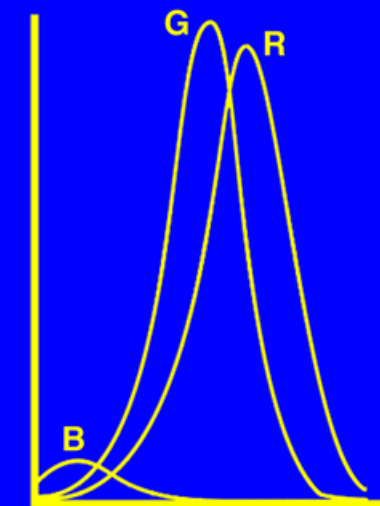


Model standardowego obserwatora

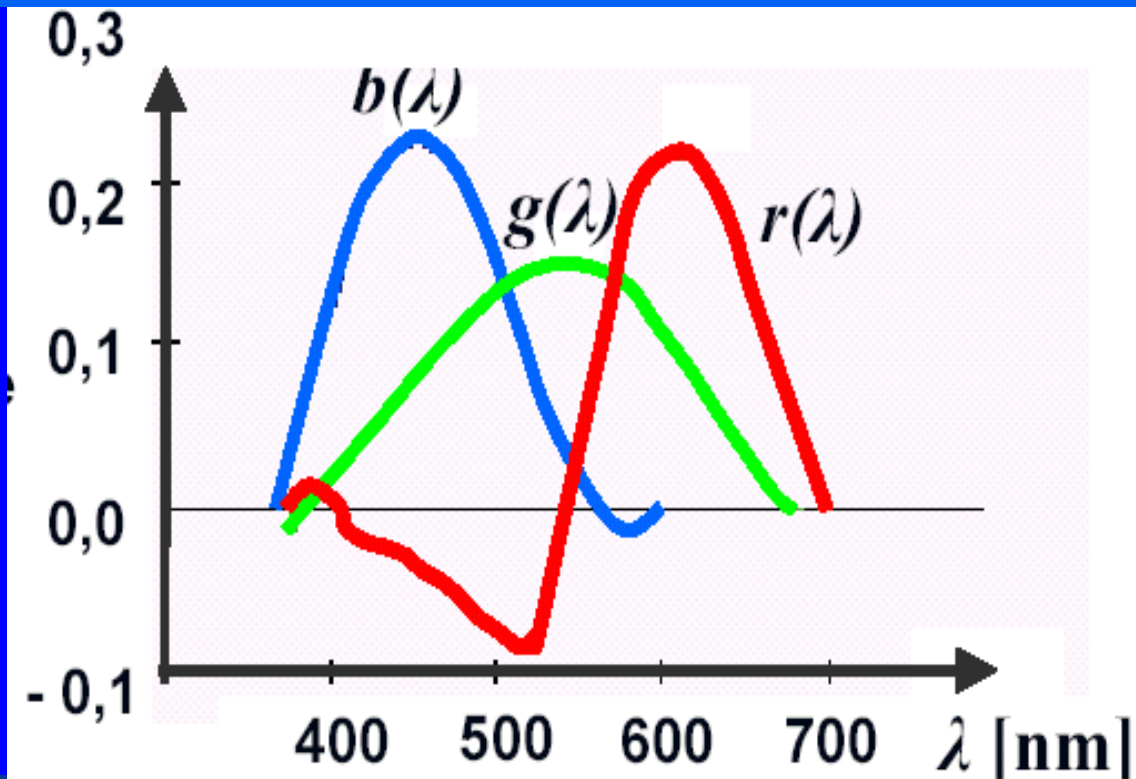


$$C = r \cdot R + g \cdot G + b \cdot B$$

Teoria trój-pobudzenia



tristimulus theory



- Za pomocą 3 czystych barw widmowych nie da się uzyskać wszystkich dostępnych odcieni, trzeba stosować wagi ujemne lub wprowadzić inne barwy podstawowe.

Model CIE XYZ

$$X = k \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

X, Y, Z – tzw. super-nasycone barwy podstawowe

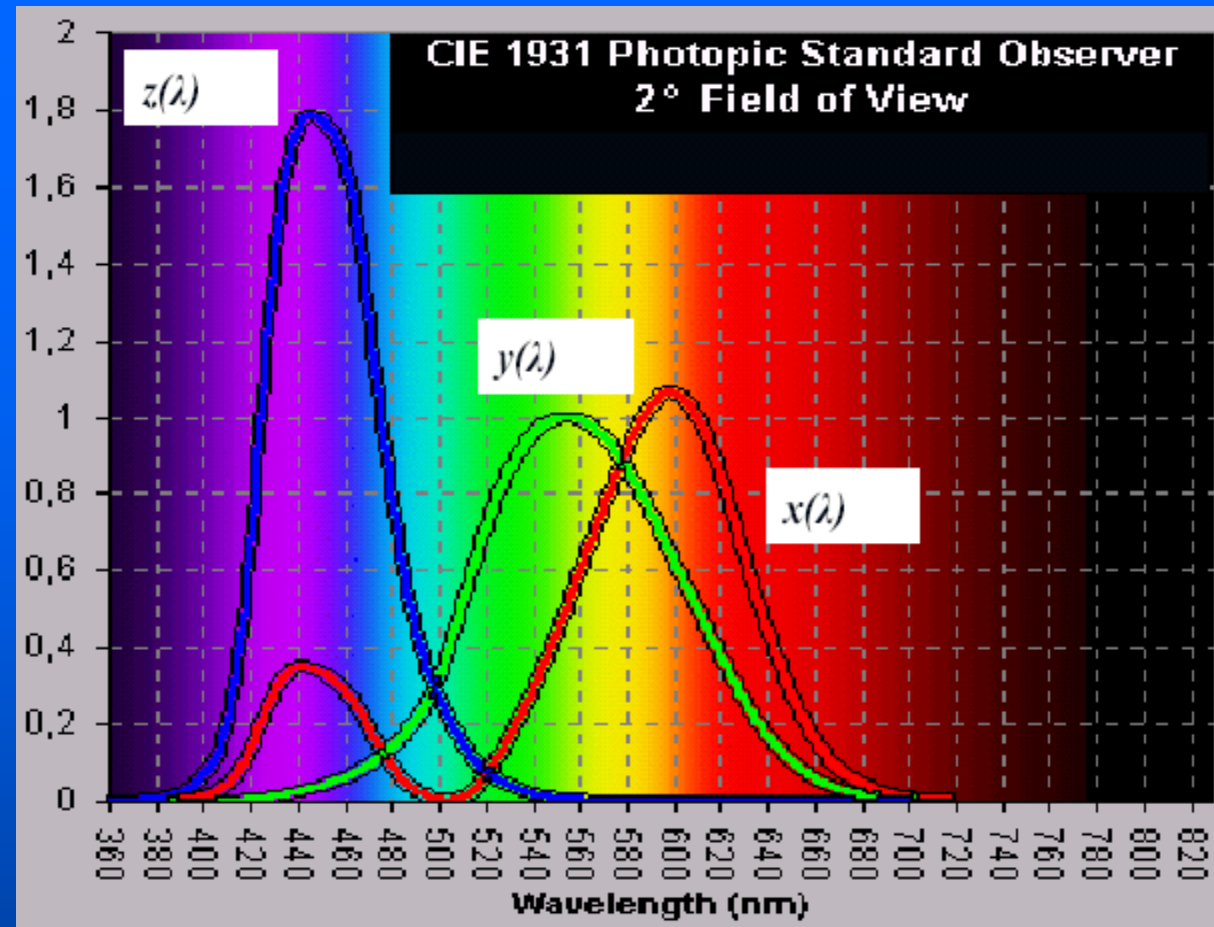
- System współrzędnych barwnych XYZ, w którym światło o dowolnej barwie daje się przedstawić za pomocą trzech nieujemnych strumieni X, Y, Z.
- Widmowa składowa tróchromatyczna y dokładnie zgadza się z funkcją czułości oka na światło o stałej luminacji.

X, Z – chrominancja,
Y – luminancja

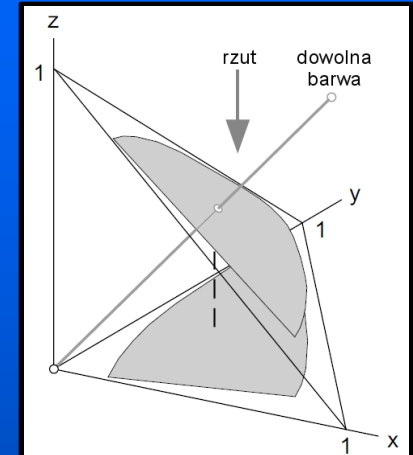
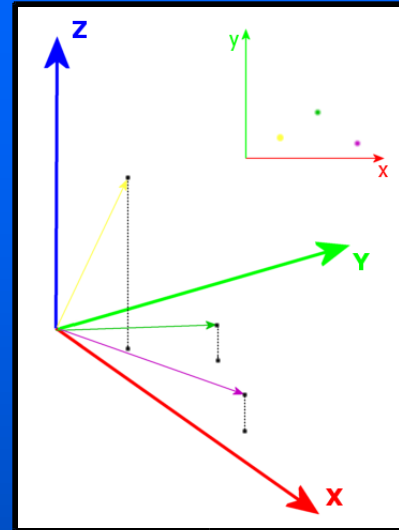
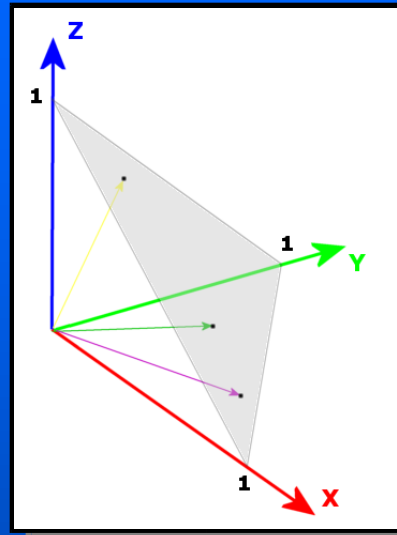
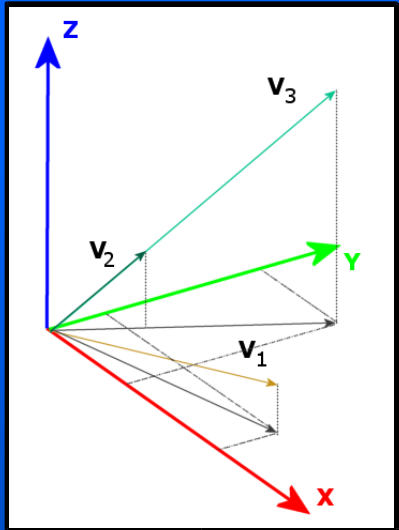
$$X = 0,490 R + 0,310 G + 0,200 B,$$

$$Y = 0,177 R + 0,812 G + 0,011 B,$$

$$Z = 0,000 R + 0,010 G + 0,990 B$$



Model CIE xy

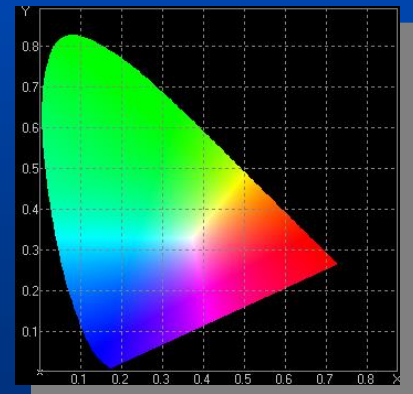


$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

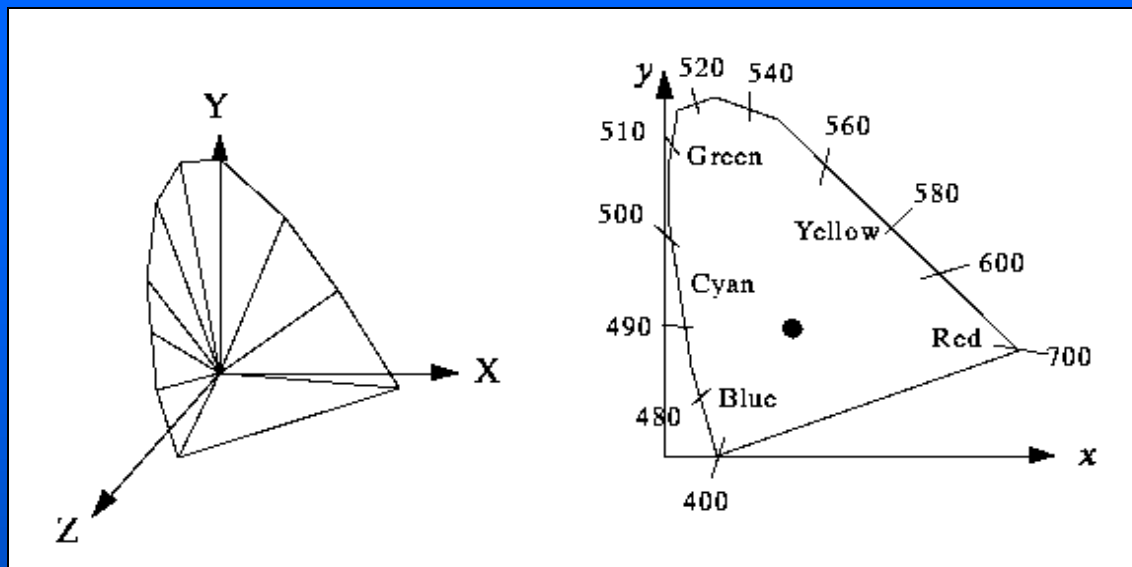
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = 1 - y - x$$

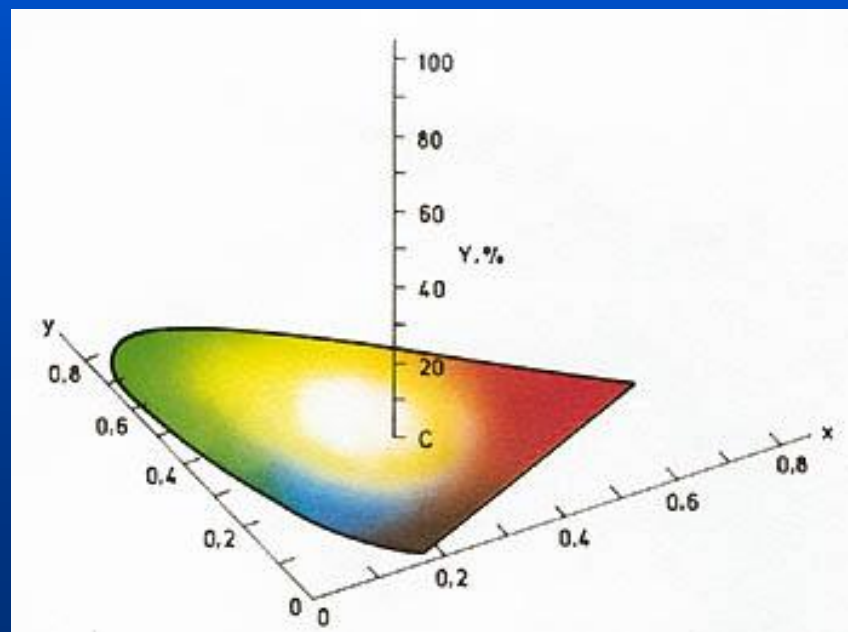
- Rzut powierzchni $X+Y+Z=1$ na płaszczyznę XY



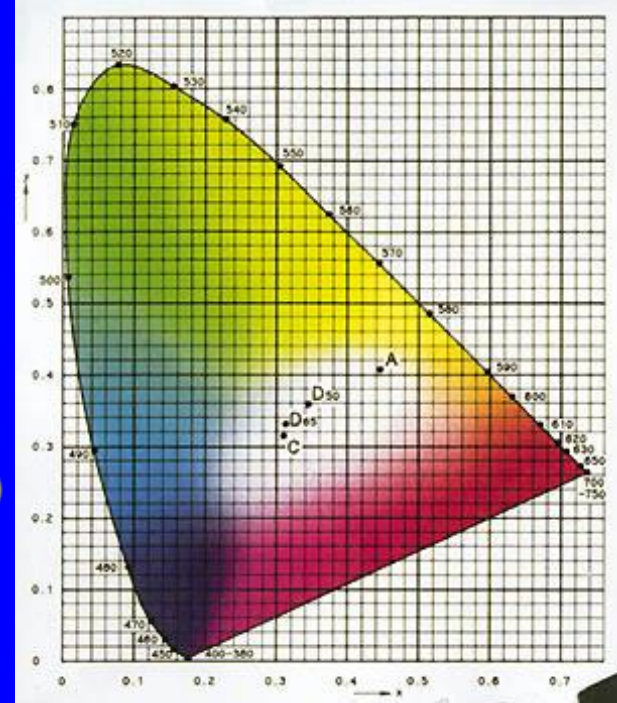
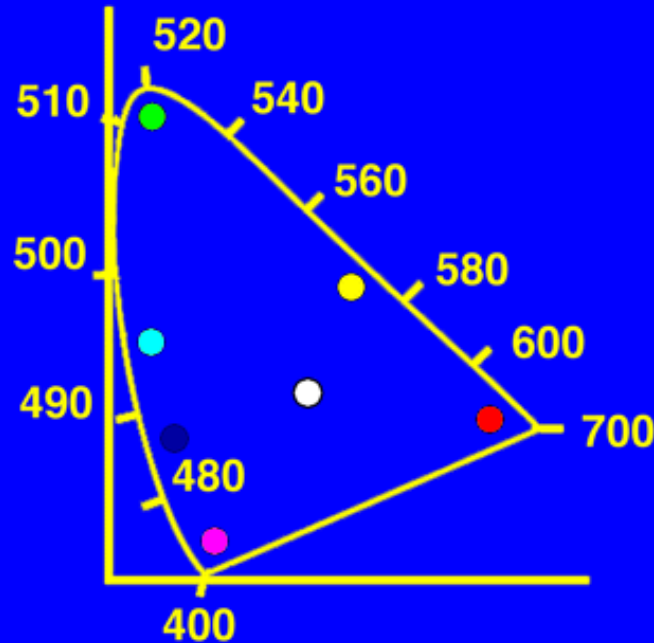
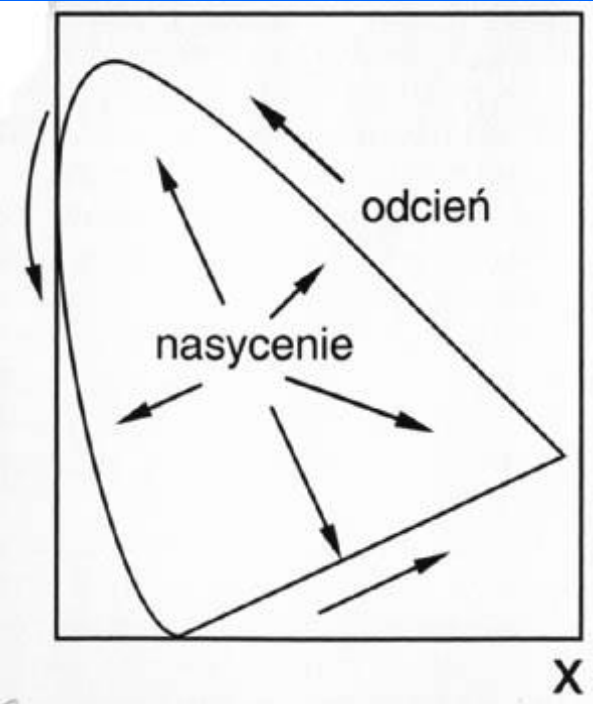
Model CIE xy



- Wykres chromatyczności
- Rzut powierzchni $X+Y+Z=1$ na płaszczyznę XY:
 - x, y – współrzędne chromatyczne,
 - Y – luminancja (jasność),
 - xyY – pełen opis barwy.



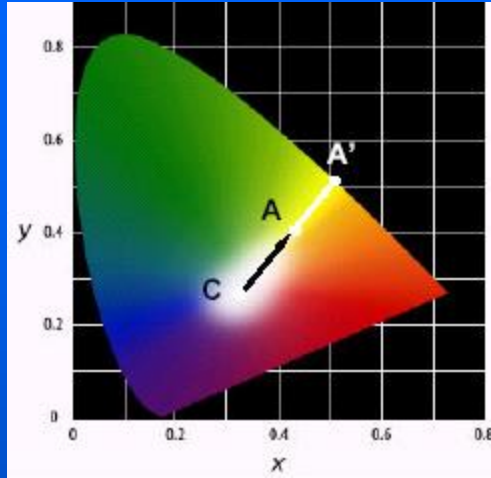
Model CIE xy



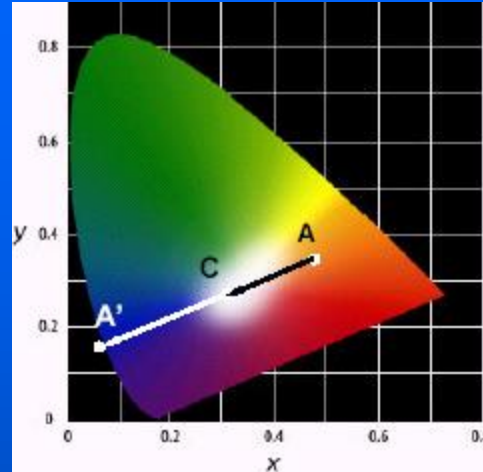
- CIE chromaticity diagram
- plots dominant wavelength and excitation purity

- Punkty na łuku oznaczają czyste odcienie widmowe, punkty wewnętrzne mają mniejsze nasycenie barwy.

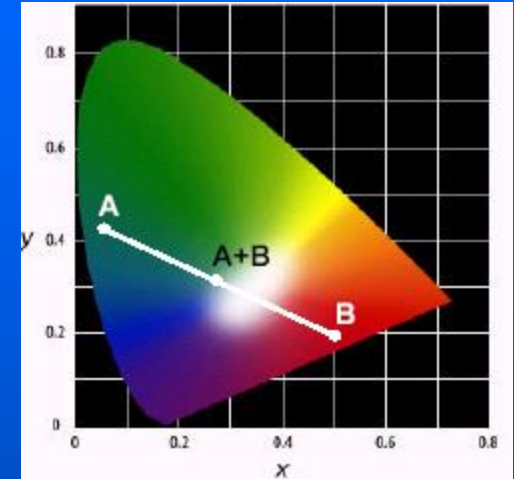
Model CIE xy



wyznaczanie barwy
dominującej



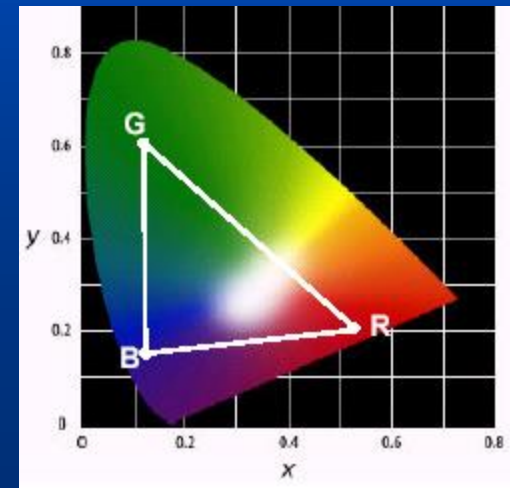
wyznaczanie barwy
uzupełniającej



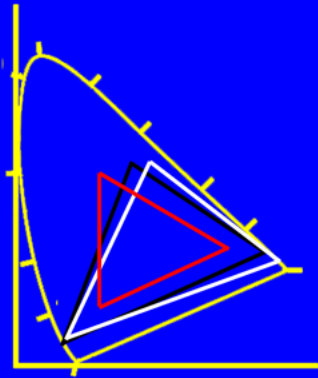
sumowanie barw

- Punkt bieli C ($x=0.333$, $y=0.333$)
 - barwa biała (bez uwzględniania jasności).

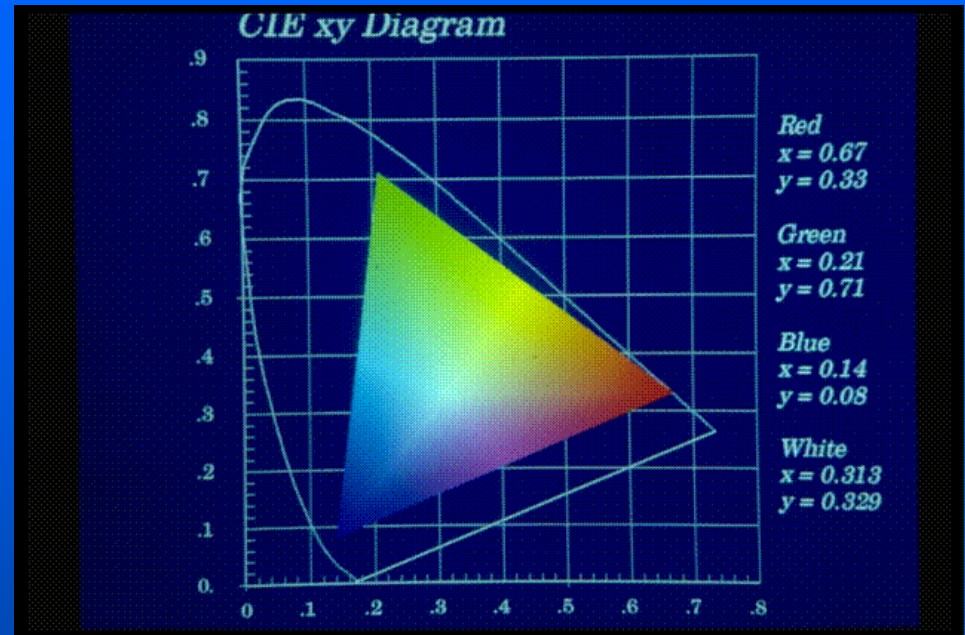
Wnętrze trójkąta zawiera
wszystkie sumy barw R, G, B



Gamy barw

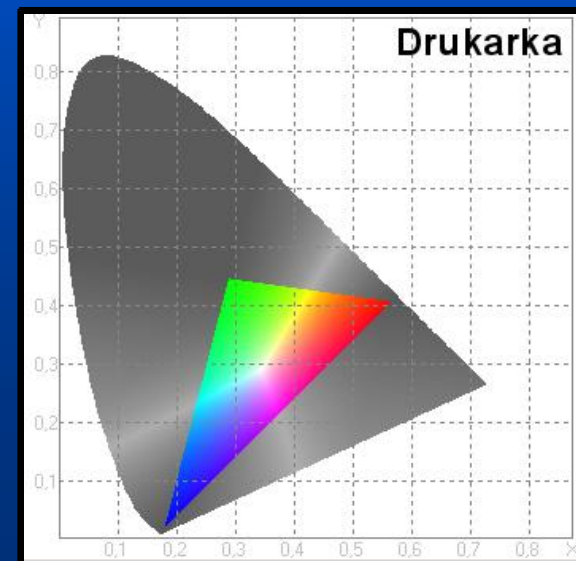
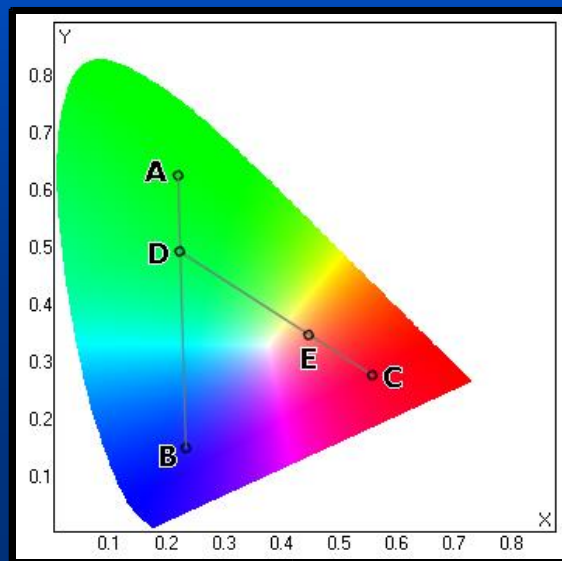
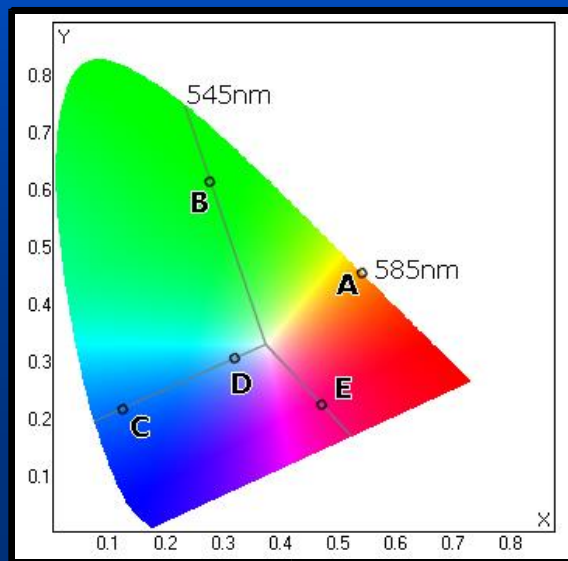
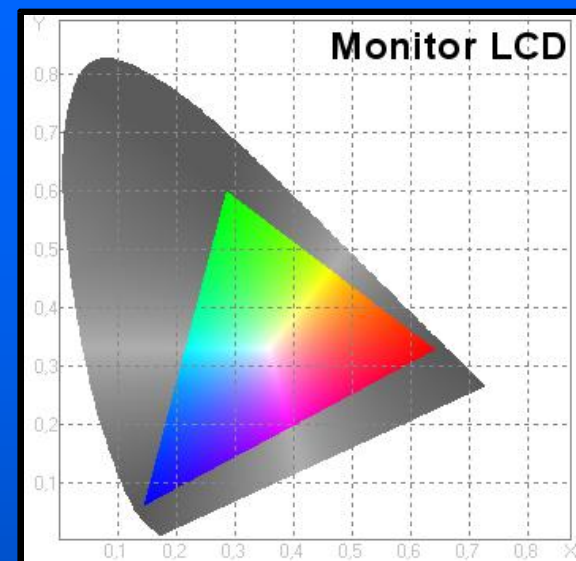
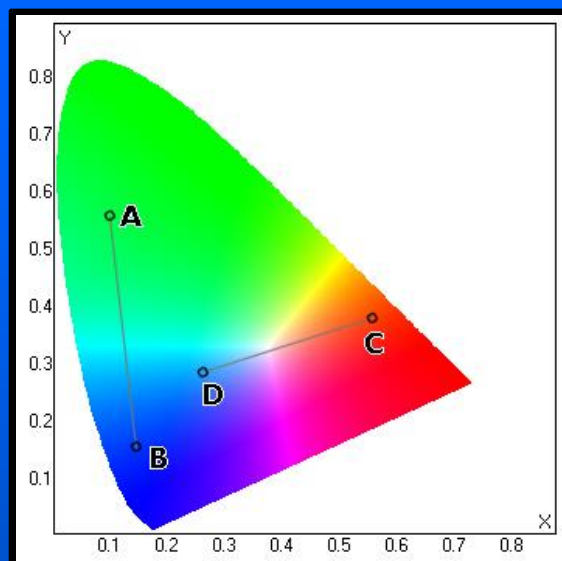
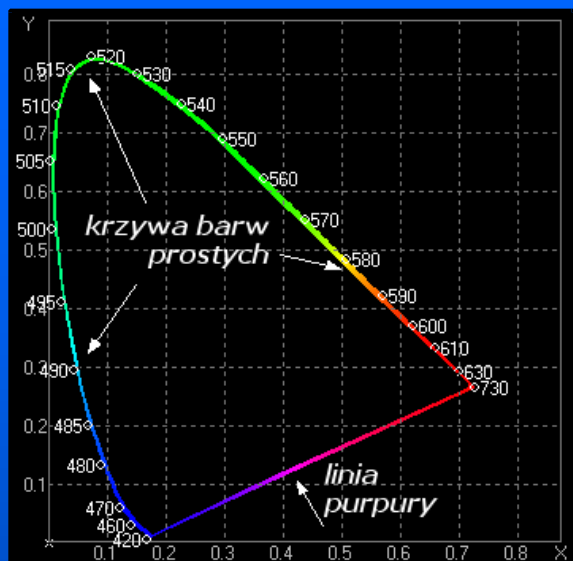


gamut is device's displayable range



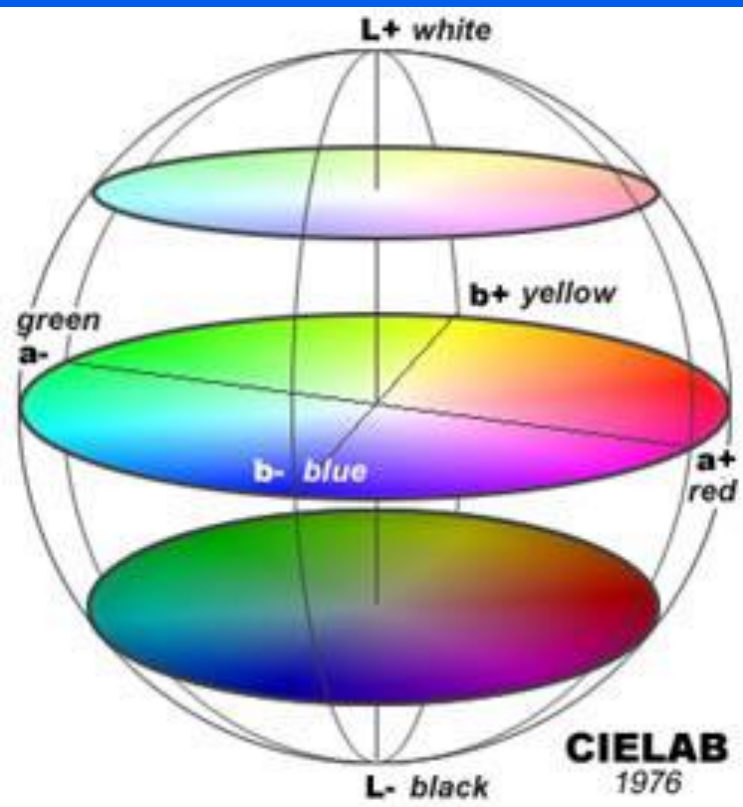
- Urządzenia wyświetlające lub drukujące są w stanie pokryć tylko część dostępnej przestrzeni barw, dodatkowo ich gamy (palety) zwykle się nie pokrywają.
- Stwarza to duże trudności w dopasowaniu rezultatów ich działania.

Przykłady



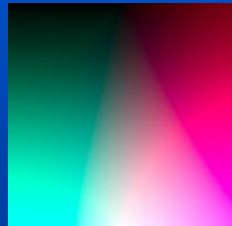
Model CIE Lab

- Model ten oferuje bardziej liniowe odwzorowanie w przestrzeni barw w stosunku do modelu CIE xy.



L – reprezentuje jasność
(*luminosity*)

a – stosunek
czerwień/zieleń

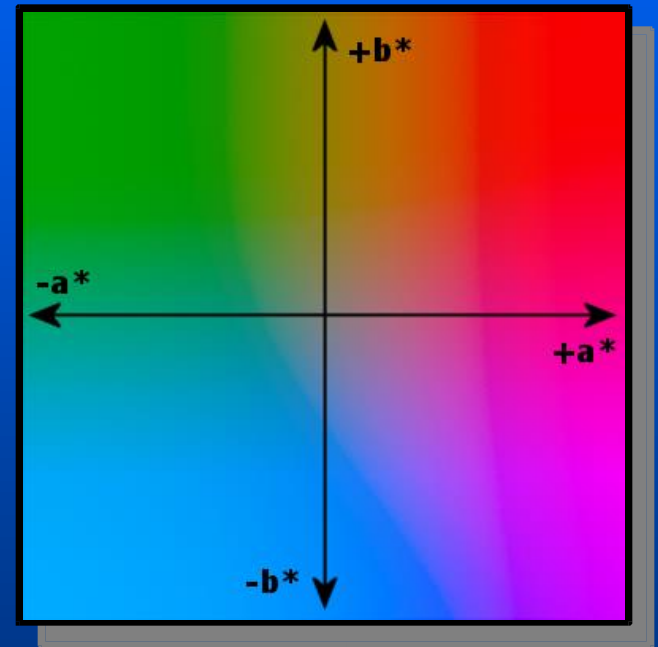
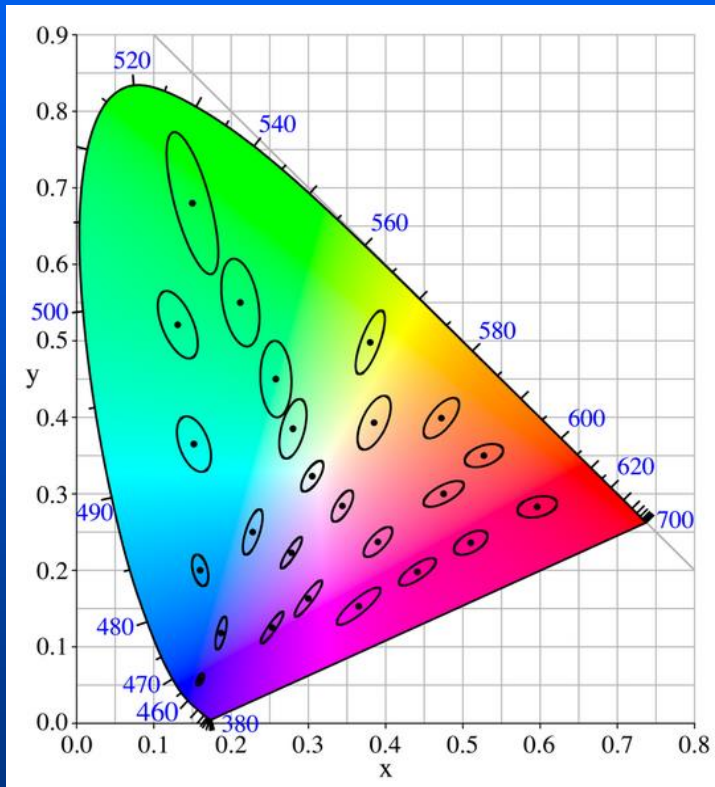


b – stosunek
błękit/żółć



- Model ten pozostaje nie zależny od urządzenia.

Model CIE Lab



Model CIE L*a*b* (1976)

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_R}} - 16 \quad \text{gdy} \quad \frac{Y}{Y_R} > 0,008856$$

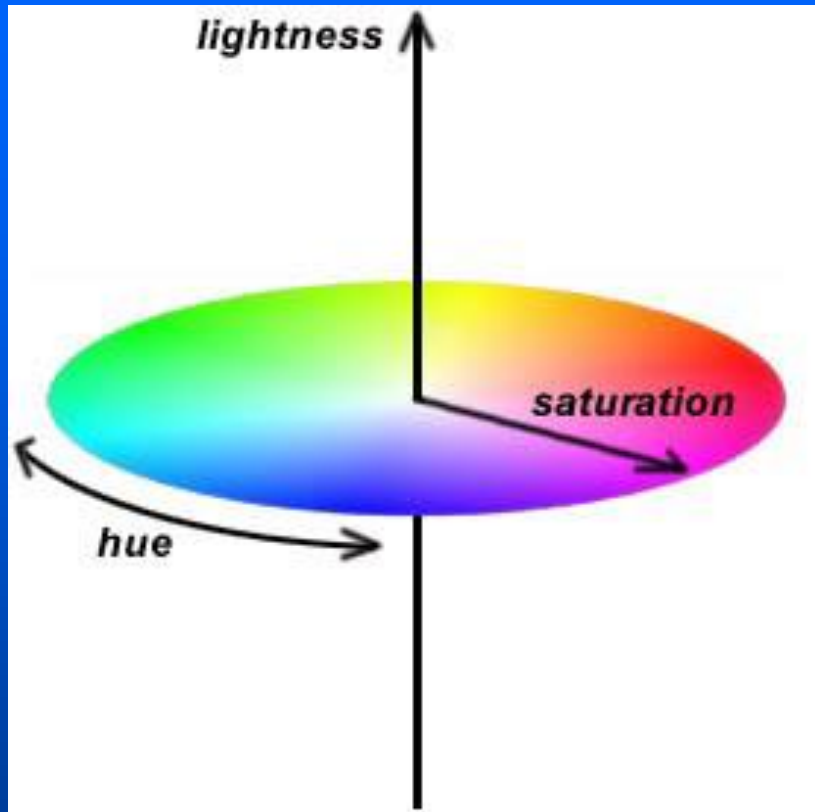
$$L^* = 903,3 \frac{Y}{Y_R} \quad \text{gdy} \quad \frac{Y}{Y_R} \leq 0,008856$$

$$a^* = 500 \left[\sqrt[3]{\frac{X}{X_R}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_R}} \right] \quad b^* = 200 \left[\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_R}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_R}} \right]$$

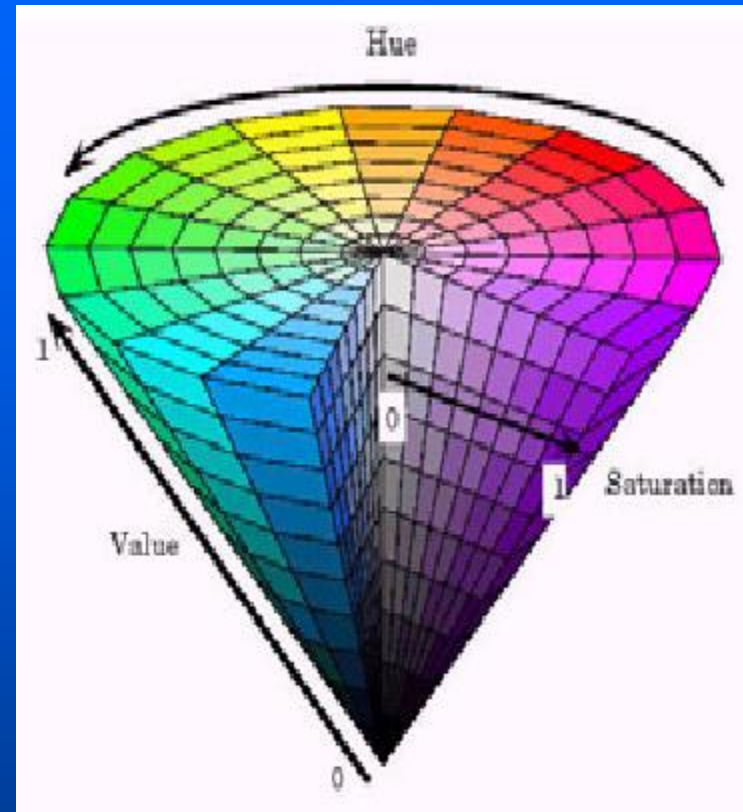
$$\Delta B = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

- Interpretacja odległości międzybarwowej:
 - gdy $\Delta B < 1$ barwy są nierozróżnialne,
 - gdy $1 < \Delta B < 2$ różnicę zauważa tylko doświadczony obserwator,
 - gdy $2 < \Delta B < 3.5$ różnicę zauważa przeciętny obserwator,
 - gdy $3.5 < \Delta B < 5.0$ zauważa się wyraźną różnicę barw,
 - gdy $\Delta B > 5$ barwy odbiera się jako zupełnie różne.

Model HSL



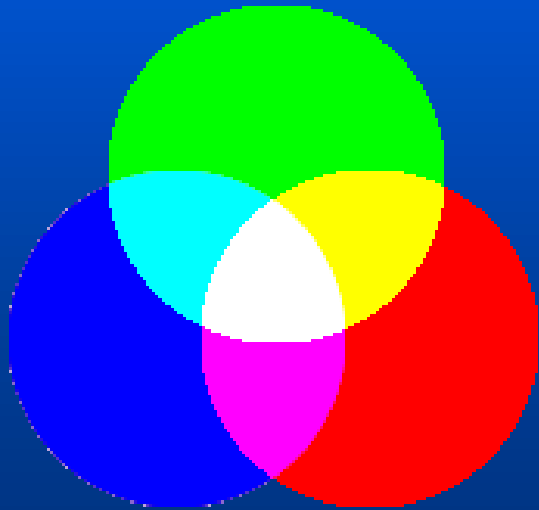
Model HSV



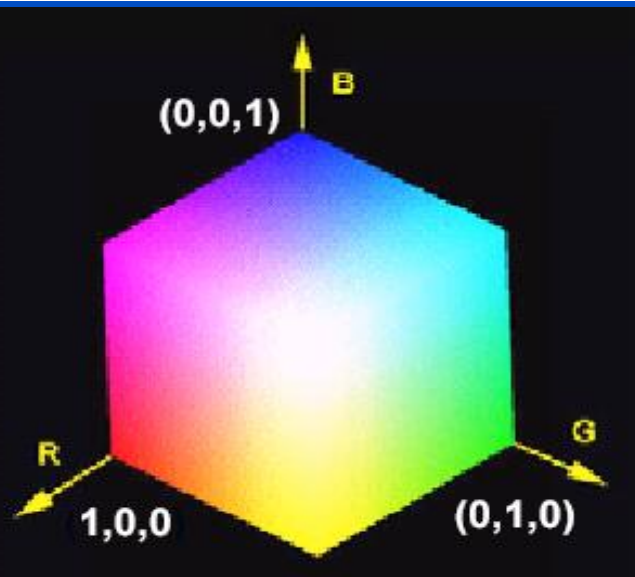
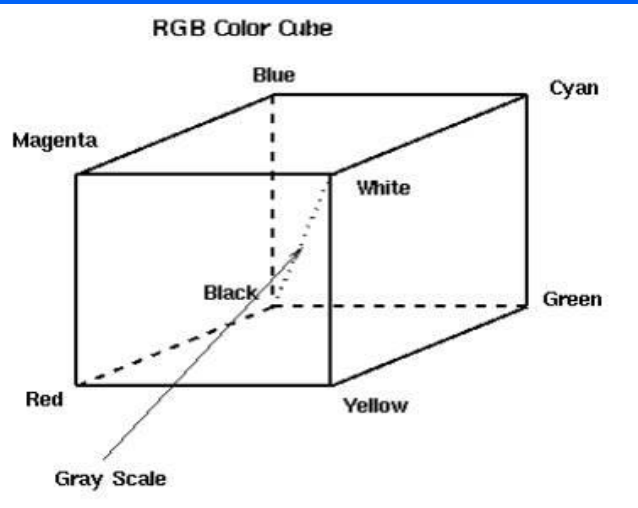
- HSV - Model intuicyjny oparty o pojęcia: odcienia (*hue*) – barwy widmowej, nasycenia (*saturation*) – udziału bieli oraz wartości (*value*) – udziału czerni dodanej do barwy.

Model RGB

- Model barw addytywnych oparty o teorię trój-stymulacji, stosowany w monitorach ekranowych CRT.
- Trzy barwy podstawowe: czerwona (*Red*), zielona (*Green*) i niebieska (*Blue*) dają w sumie barwę białą.
- Pozostałe odcienie otrzymywane są poprzez dodawanie udziałów barw podstawowych (np. **żółty** = **czerwony** + **zielony**).

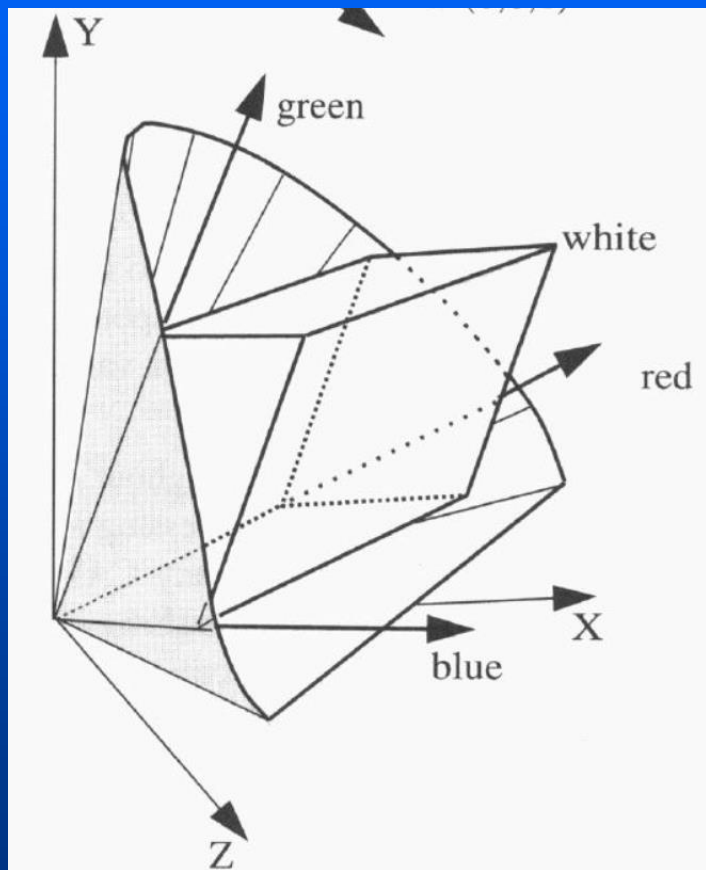


Przestrzeń barw w modelu RGB



- W modelu RGB gama barw reprezentowana jest poprzez sześcian jednostkowy w układzie współrzędnych.
- Barwa czarna – pkt. $(0,0,0)$,
- Barwa biała - pkt. $(1,1,1)$.
- Poziomy szarości - przekątna sześcianu $(0,0,0) - (1,1,1)$.

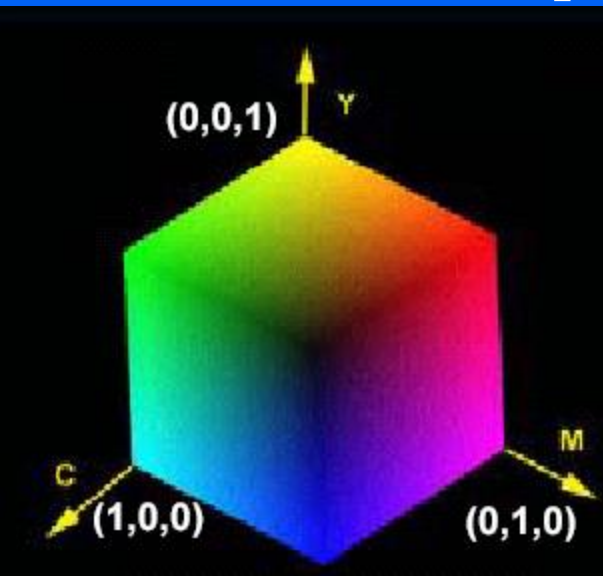
Standaryzacja – sRGB



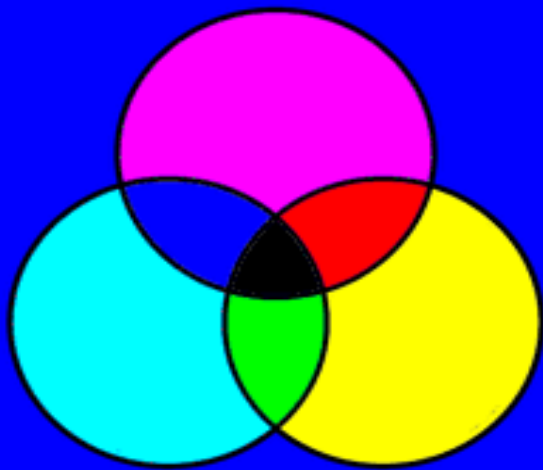
- Domyślne wartości wg CIE-XYZ dla monitorów komputerowych:
 - Red: 0.6400, 0.3300
 - Green: 0.3000, 0.6000
 - Blue: 0.1500, 0.0600
 - White: 0.3127, 0.3290 (D65)
 - Gamma: 2.2
- Te same parametry dla telewizji HDTV i cyfrowego wideo (ITU-R 709)
 - <http://www.color.org>

Model CMYK

- Model barw subtraktywnych (pochłaniających), stosowany w drukarkach, ploterach, poligrafii.



- Trzy barwy podstawowe: seledynowa (*Cyan*), purpurowa (*Magenta*) i żółta (*Yellow*) pochłaniają selektywnie światło białe.
- Pozostałe odcienie otrzymywane są poprzez odejmowanie udziałów barw podstawowych od światła białego

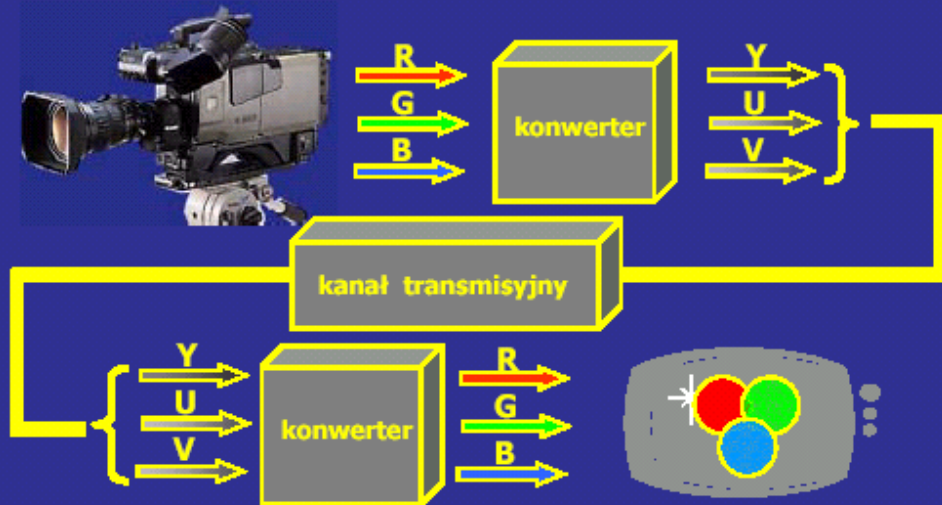


zielony = światło białe – **żółty** – **seledyn**

- Barwnik czarny (*black*) poprawia efekt czerni.

Modele telewizyjne YUV i YIQ

luminancja (Y) – informacja o jasności, obraz w szarości
chrominancja (UV, IQ) – informacja o barwie



- Oparte na modelu CIE XYZ:
 - parametr Y pełni taką samą funkcję, jak w modelu XYZ, tj. niesie informację o luminancji (jasności),
 - informacja chromatyczna (widmo *Hue* oraz nasycenie *Purity*) zawiera się odpowiednio w parametrach (IQ) i (UV).

YIQ – model dla telewizji w systemie NTSC

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.229 & 0.587 & 0.114 \\ -0.168 & -0.257 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Y - luminancja, I, Q - chrominancja

YUV – model dla telewizji w systemie PAL

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.229 & 0.587 & 0.114 \\ -0.146 & -0.288 & -0.434 \\ 0.617 & -0.517 & 0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

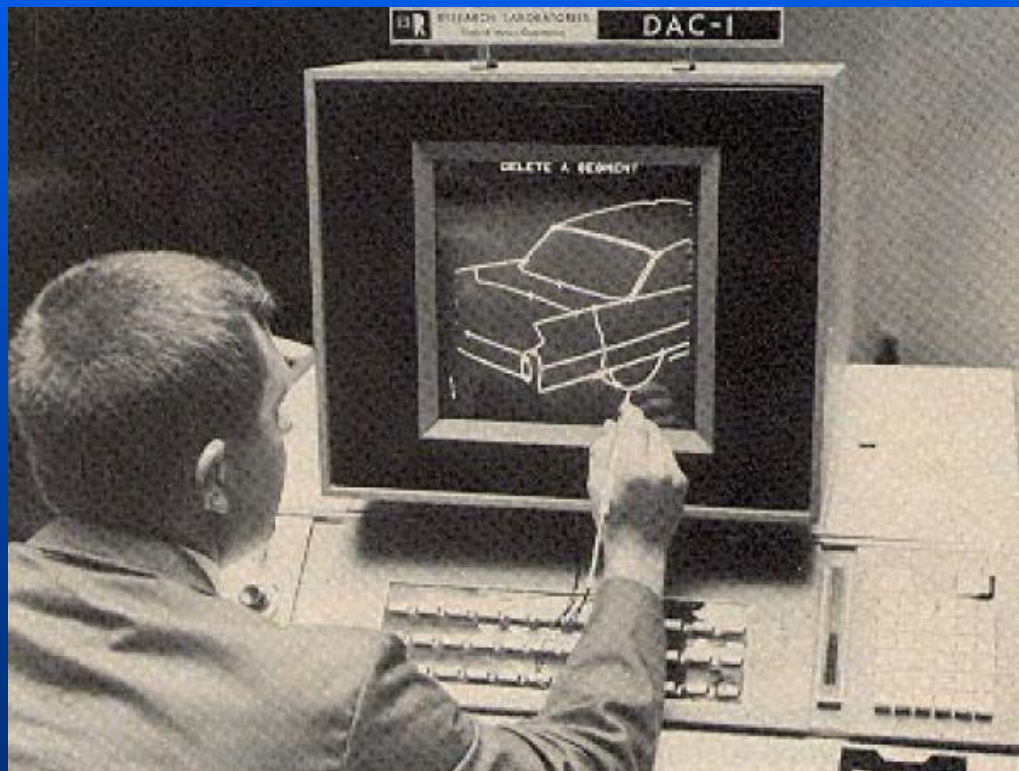
Y - luminancja, U, V - chrominancja

Grafika a komputery

- Mechanizm wyświetlania grafiki w komputerze PC
- Reprezentacje barw i półtonów w urządzeniach komputerowych oraz wady ich odwzorowania
- Podział na grafikę rastrową i wektorową
- Formaty zapisu grafiki rastrowej
- Formaty zapisu grafiki wektorowej

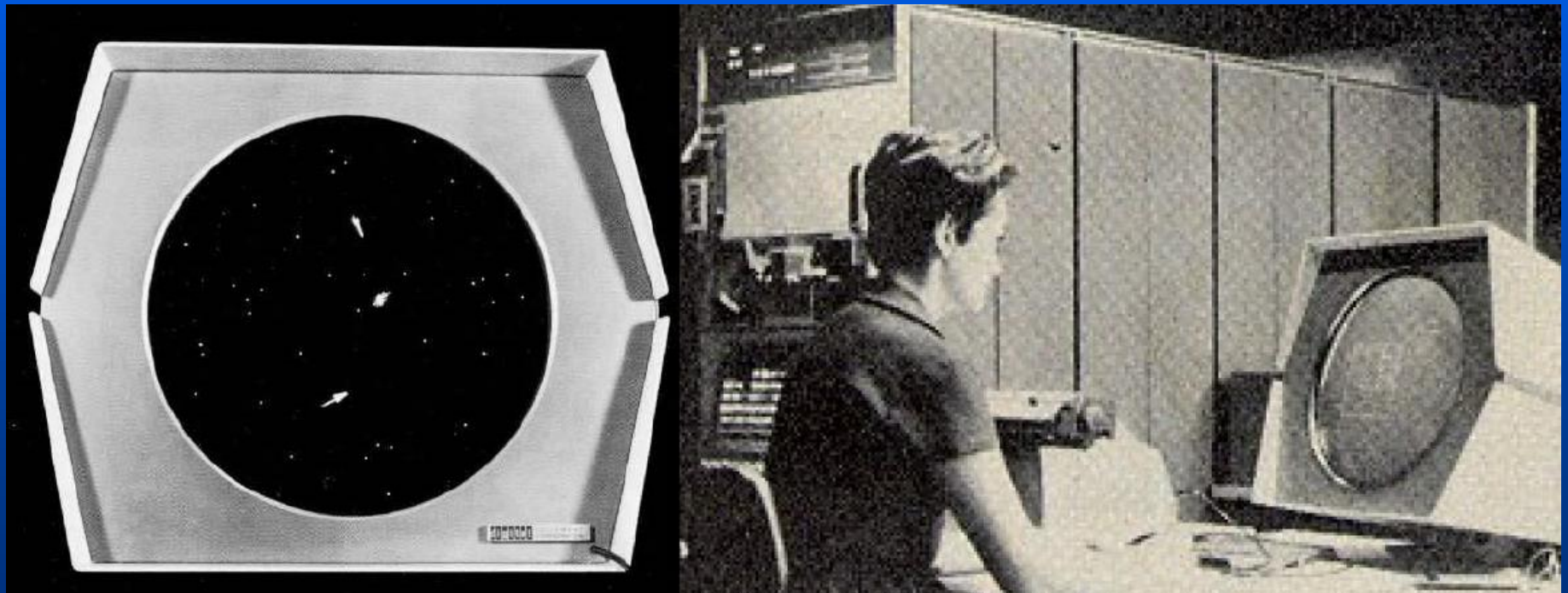
1959 – DAC-1

- System wspomagania projektowania opracowany przez GM i IBM



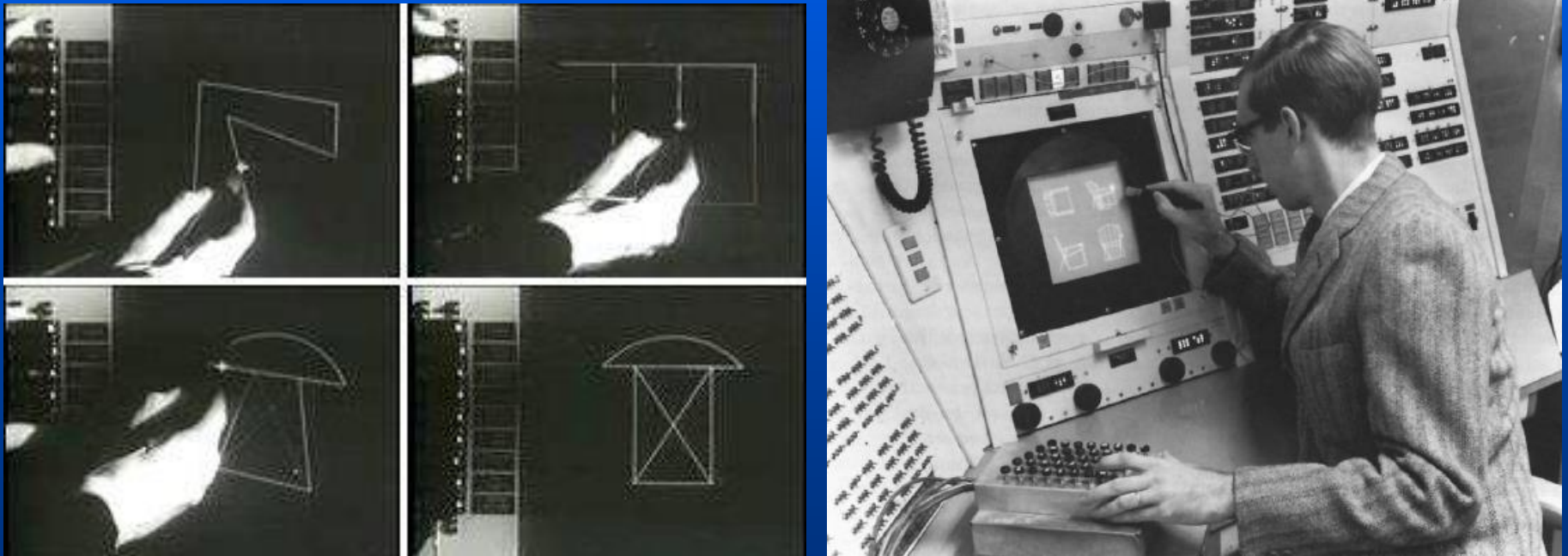
1961 – Spacewar

- Pierwsza gra komputerowa opracowana przez Steva Russella na minikomputer DEC PDP-1



Rok 1963 – Sketchpad

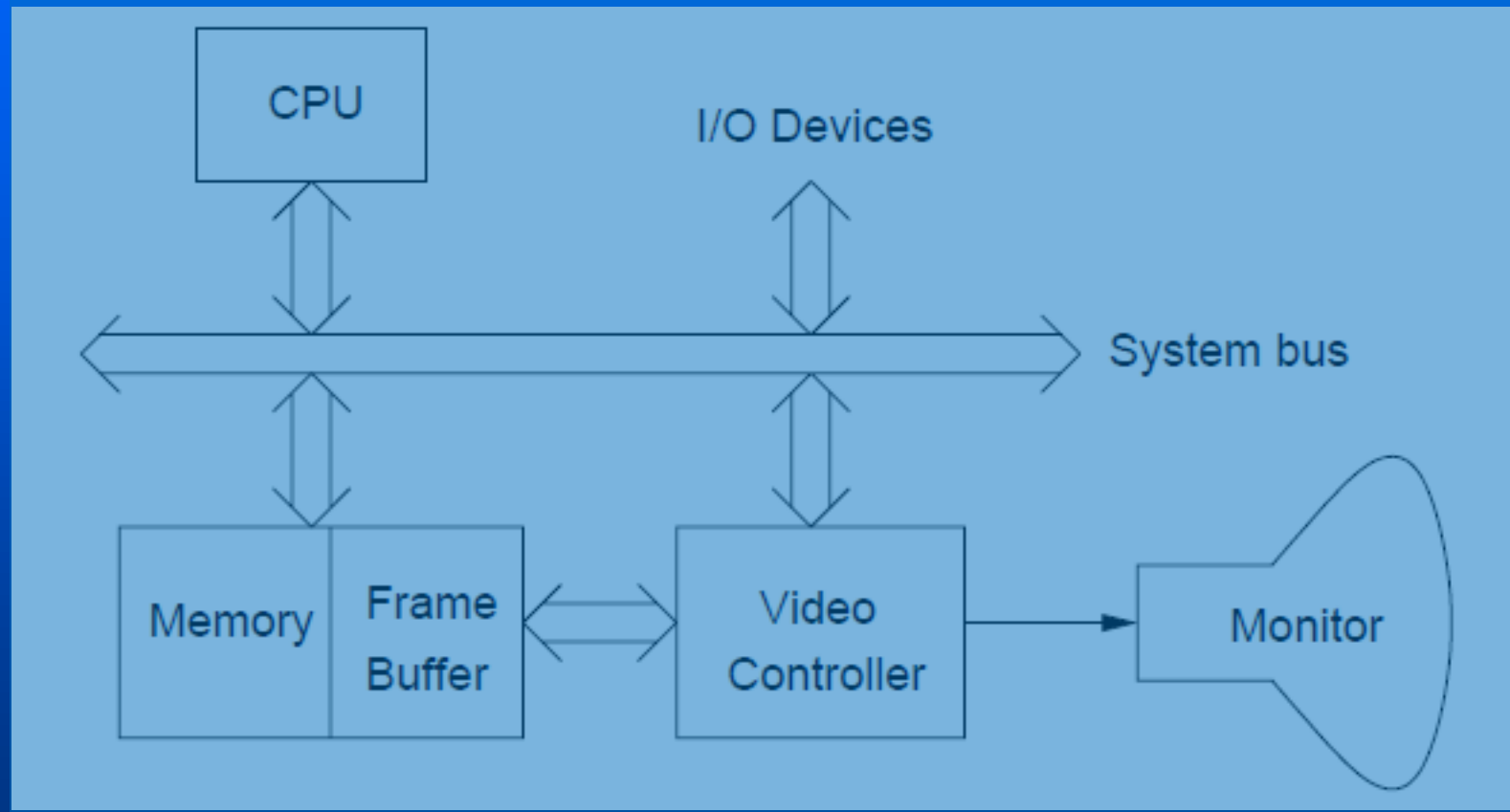
- Pierwszy pakiet typu CAD, opracowany przez Ivana Sutherlanda w MIT



Graficzny tryb pracy komputera

- Dominujący sposób realizacji interfejsu użytkownika we współczesnych systemach operacyjnych.
- Komputer buduje w pamięci mapę reprezentującą wszystkie punkty obrazu (piksele), które mają być wyświetlone na ekranie.

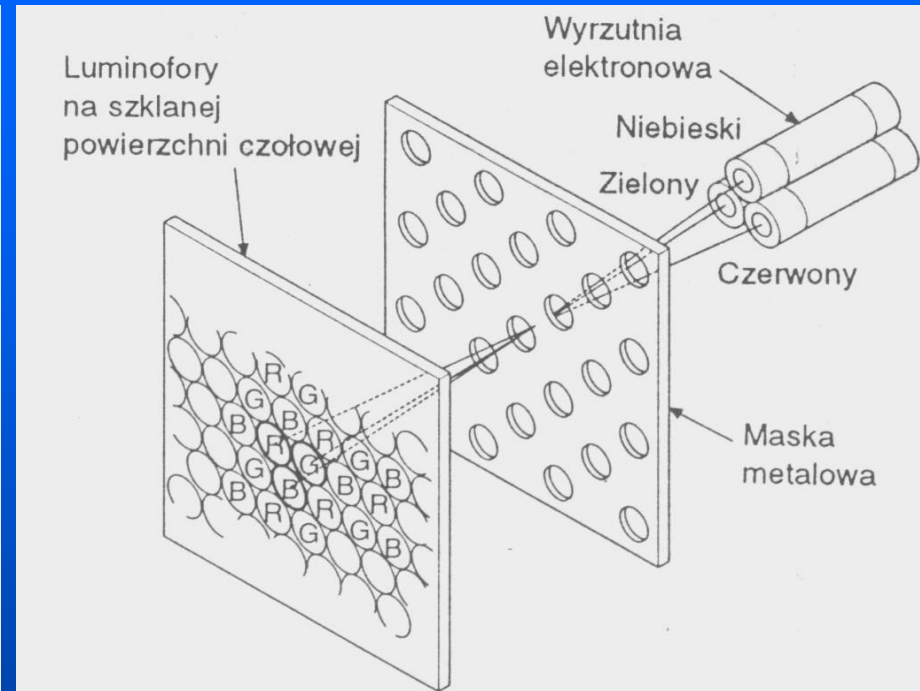
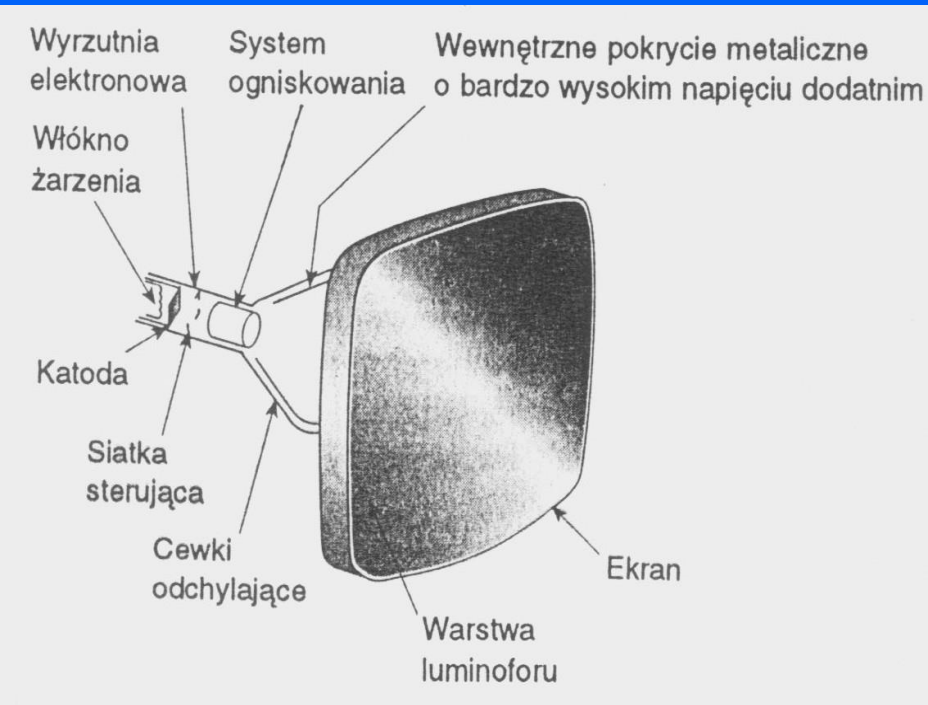
Prosty system grafiki rastrowej



Tryb graficzny

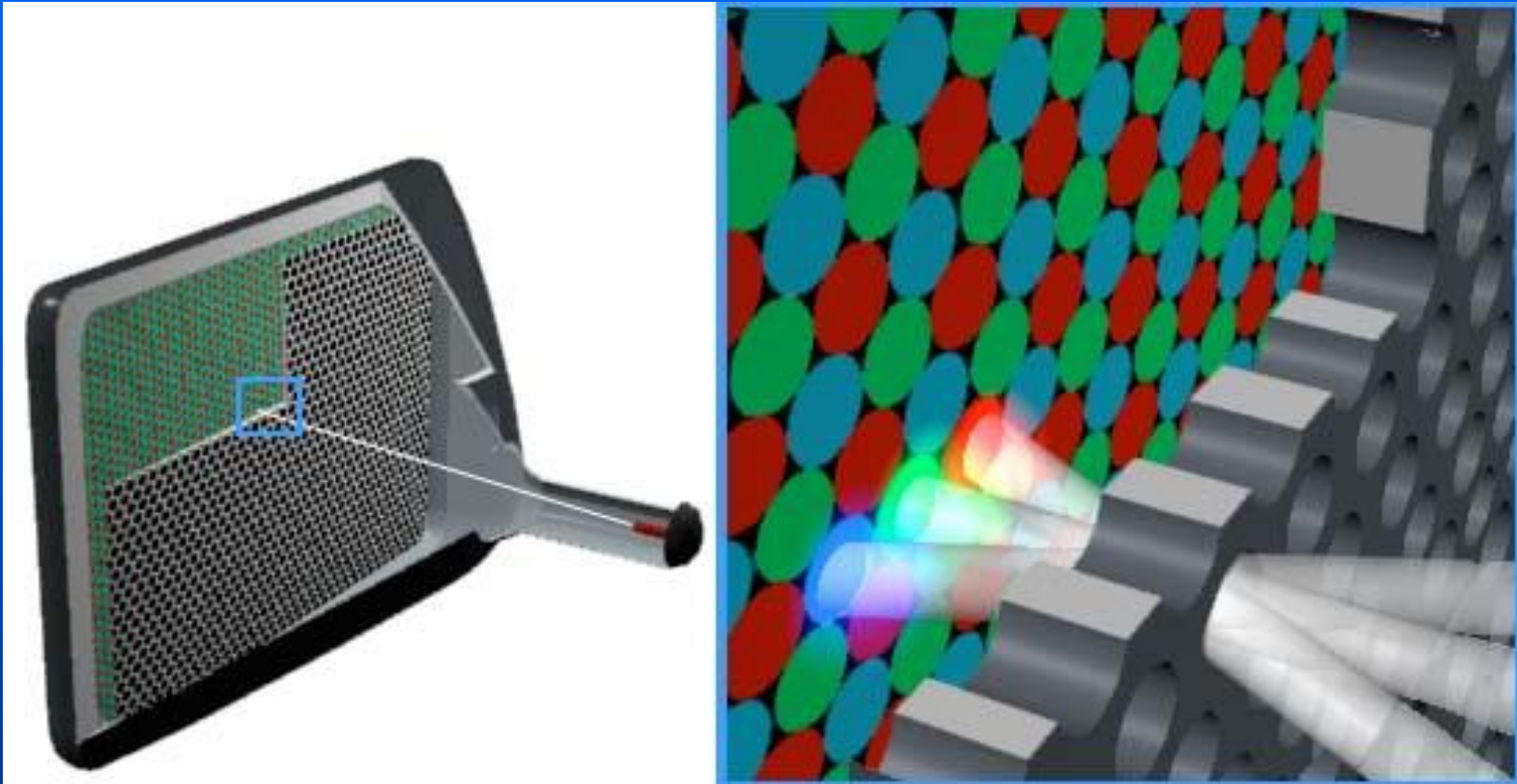
- Rozmiar pamięci potrzebnej do opisanego wyglądu ekranu jest zależny od:
 - rozdzielczości obrazu – determinuje ona ilość pikseli tworzących obraz,
 - palety barw – determinuje ona ilość informacji potrzebnej do opisanego wyglądu pojedynczego piksela,
 - opcjonalnego buforowania obrazu – możliwe jest budowanie następnego kadru w czasie wyświetlania poprzedniego, komponowanie kilku obrazów np. wzajemnie przesłaniających się (bufor Z).

Mechanizm wyświetlania obrazu w komputerach PC



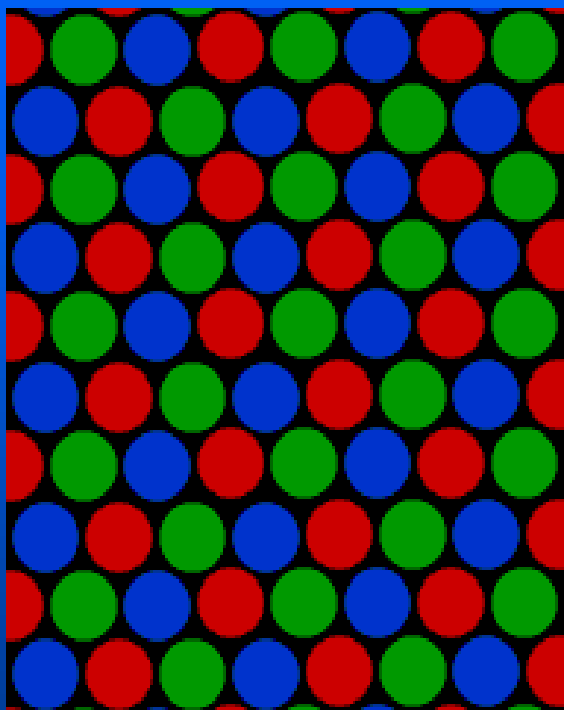
- Monitory monochromatyczne – schemat lampy CRT.
- Monitory kolorowe – maska (delta-delta) – trzy wyrzutnie i plamki luminoforu są uporządkowane w trójkątny wzór (Δ).

Mechanizm wyświetlania obrazu – monitor CRT

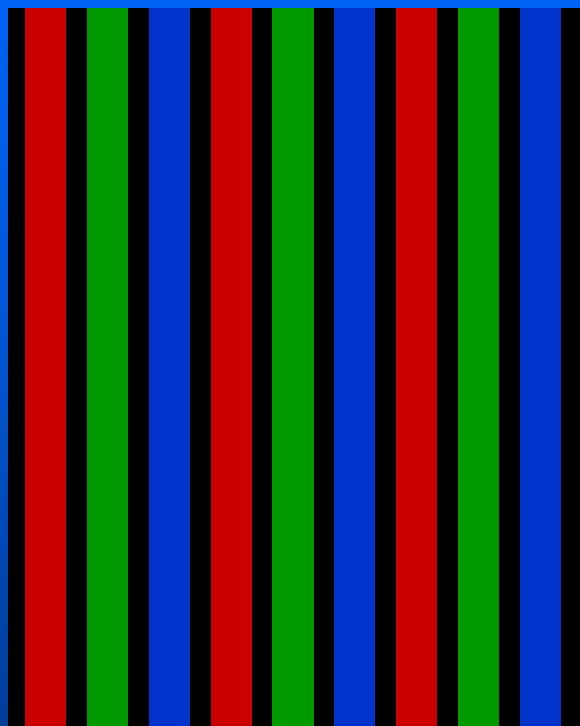


- Plamki luminoforu są tak małe i tak gęsto upakowane, że światło przez nie emitowane jest odbierane jako mieszanina barw.

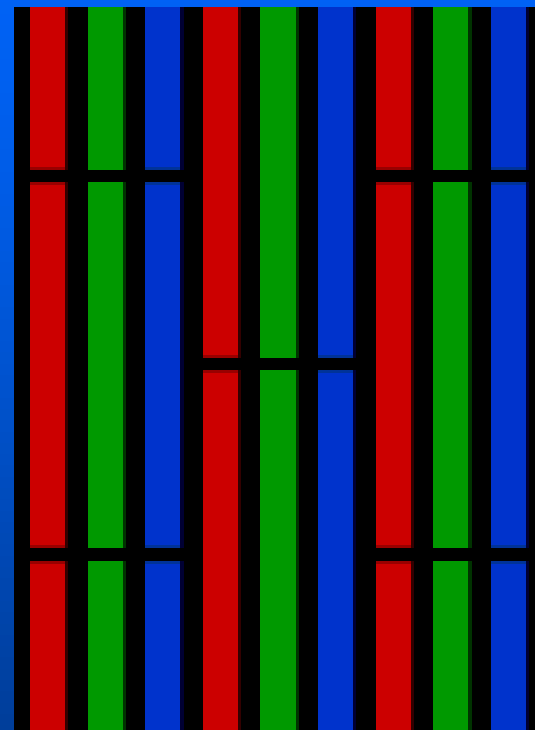
Mechanizm wyświetlania obrazu ...



maska perforowana

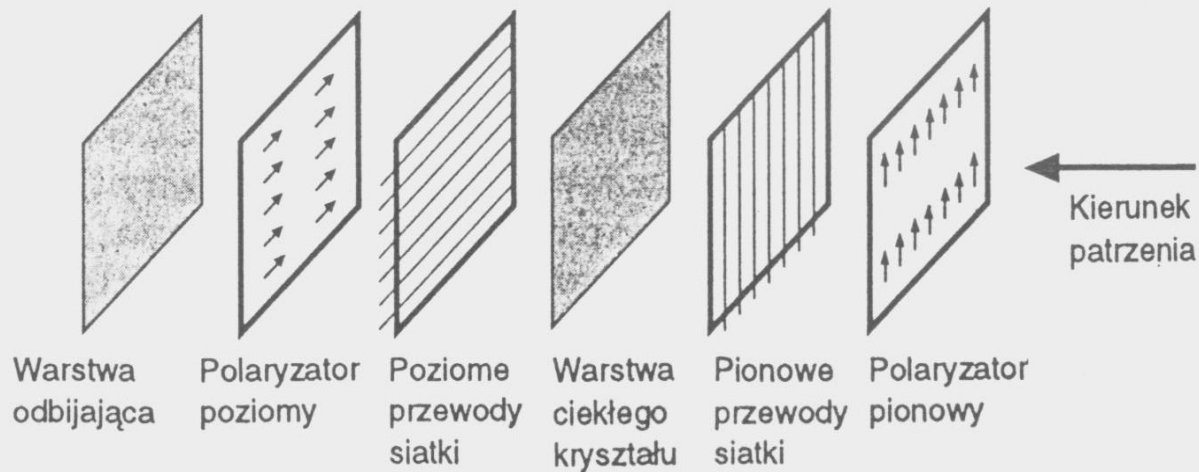


maska szczelinowa



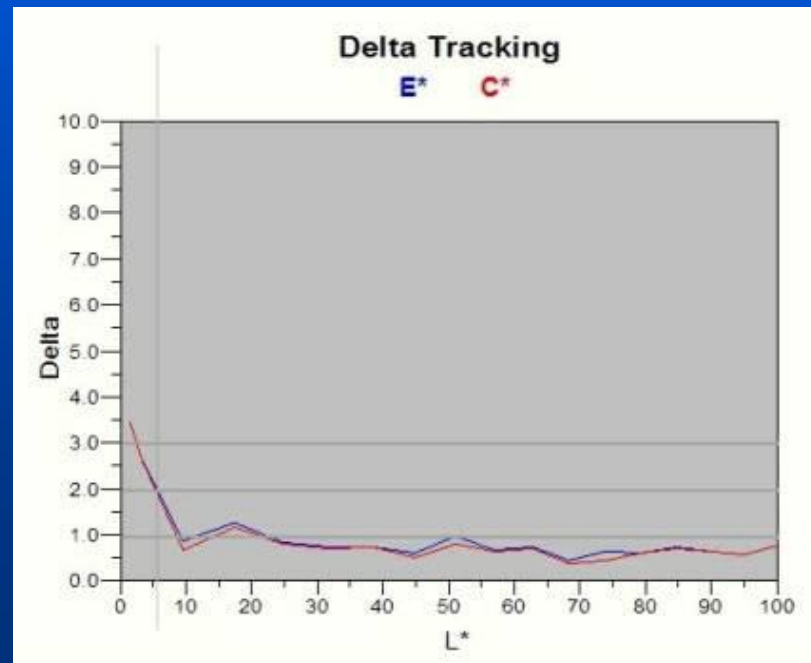
maska prostokątna

Mechanizm wyświetlania obrazu – c.d.



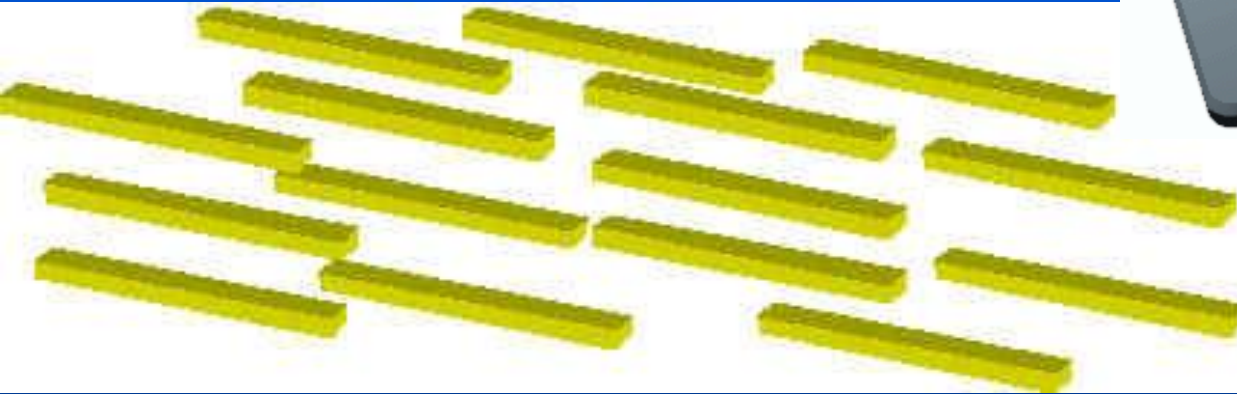
- Wyświetlacz ciekłokrystaliczny LCD

19-calowy monitor LCD



Mechanizm wyświetlania obrazu – monitor LCD

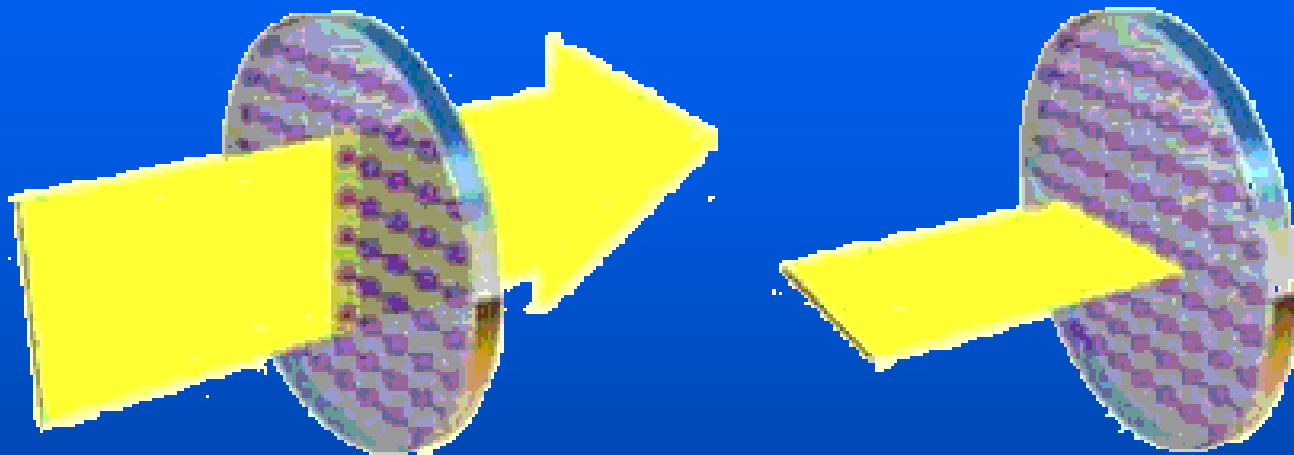
- Wyświetlacz ciekłokrystaliczny LCD



- Ciekły kryształ – specyficzna ciecz o wydłużonym kształcie molekuł, powodującym ich wzajemne porządkowanie się (kryształ) pomimo, że położenia molekuł są przypadkowe (ciecz).

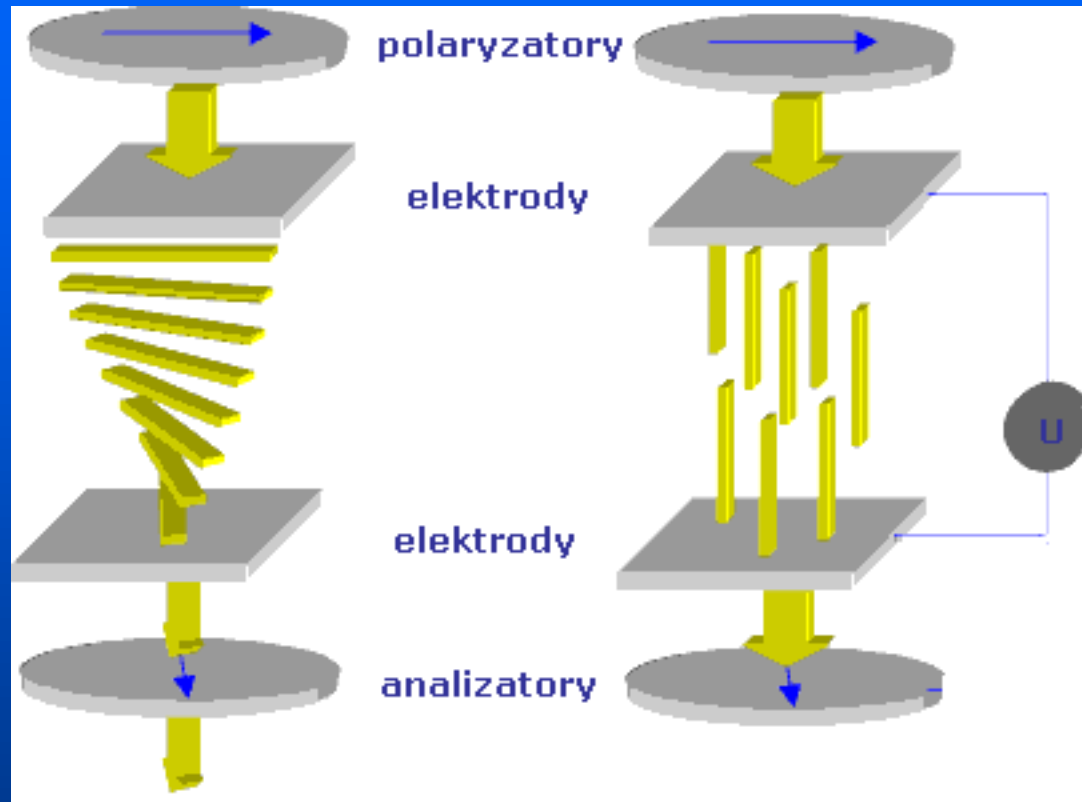
Mechanizm wyświetlania obrazu....

- Polaryzacja światła

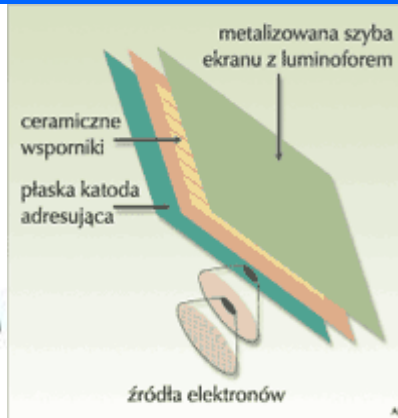
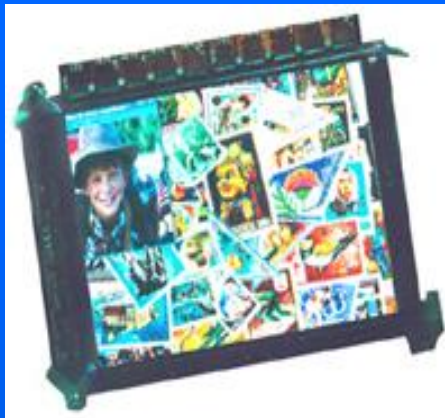


- Światło przepuszczane przez filtr polaryzujący wykonany z równoległych łańcuchów cząstek, które absorbują promieniowanie w płaszczyźnie równoległej do molekuł.

Mechanizm wyświetlania obrazu....



- Skręcony ciekły kryształ ma własność skręcenia płaszczyzny polaryzacji o 90° .



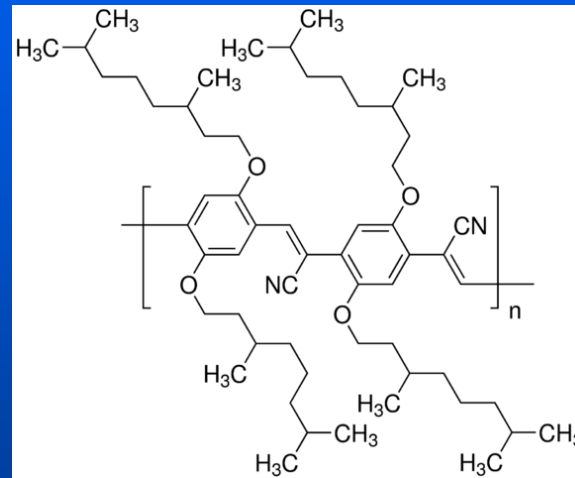
Nowoczesne wyświetlacze

wyświetlacze FED (Field Emission Displays)

Trzy wymiary

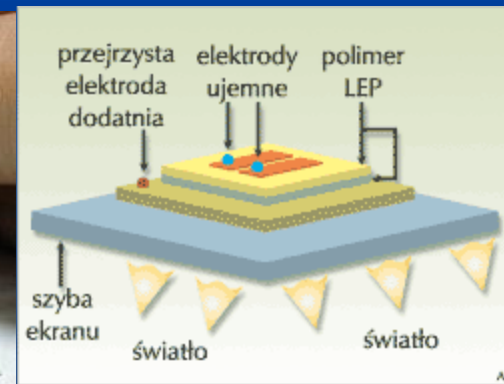
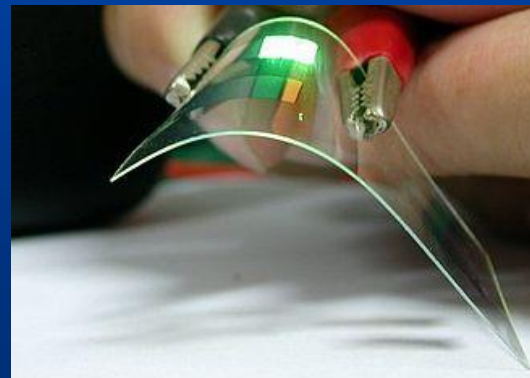
specjalne okulary lub HMD,
Head Mounted Display

Okulary projekcyjne



Monitor z plastiku, świecące polimery

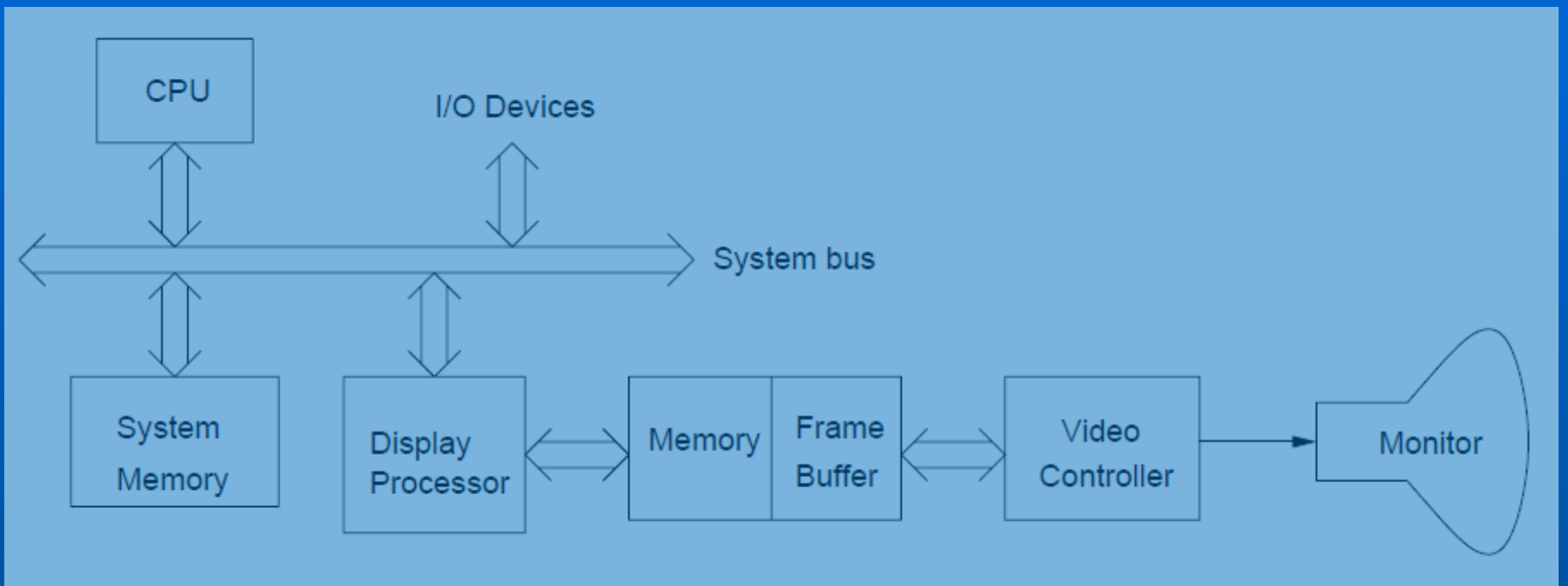
LEP (Light Emitting Polymers)
lub OLED (Organic LED)



Najważniejsze parametry monitorów

- **Rozmiary ekranu** (przekątna w calach) - diagonalą efektywna.
- **Wielkość pikseli ekranu**: od 0.25-0.42 mm.
- **Pionowa częstotliwość odchyłania**: 50-120 obrazów/sek.
- **Pozioma częstotliwość odchyłania**: liczba linii kreślonych przez strumień elektronów w ciągu sekundy, 15-64kHz.
- **Przeplot (*interlacing*)**: wyświetlanie dwu półobrazów (na przemian linie parzyste i nieparzyste - efekt migotania),
- **Tryby graficzne** (kombinacje powyższych).
- **Normy dotyczące emisji**: szwedzkie normy MPR II.
- **Normy dotyczące energooszczędności**.

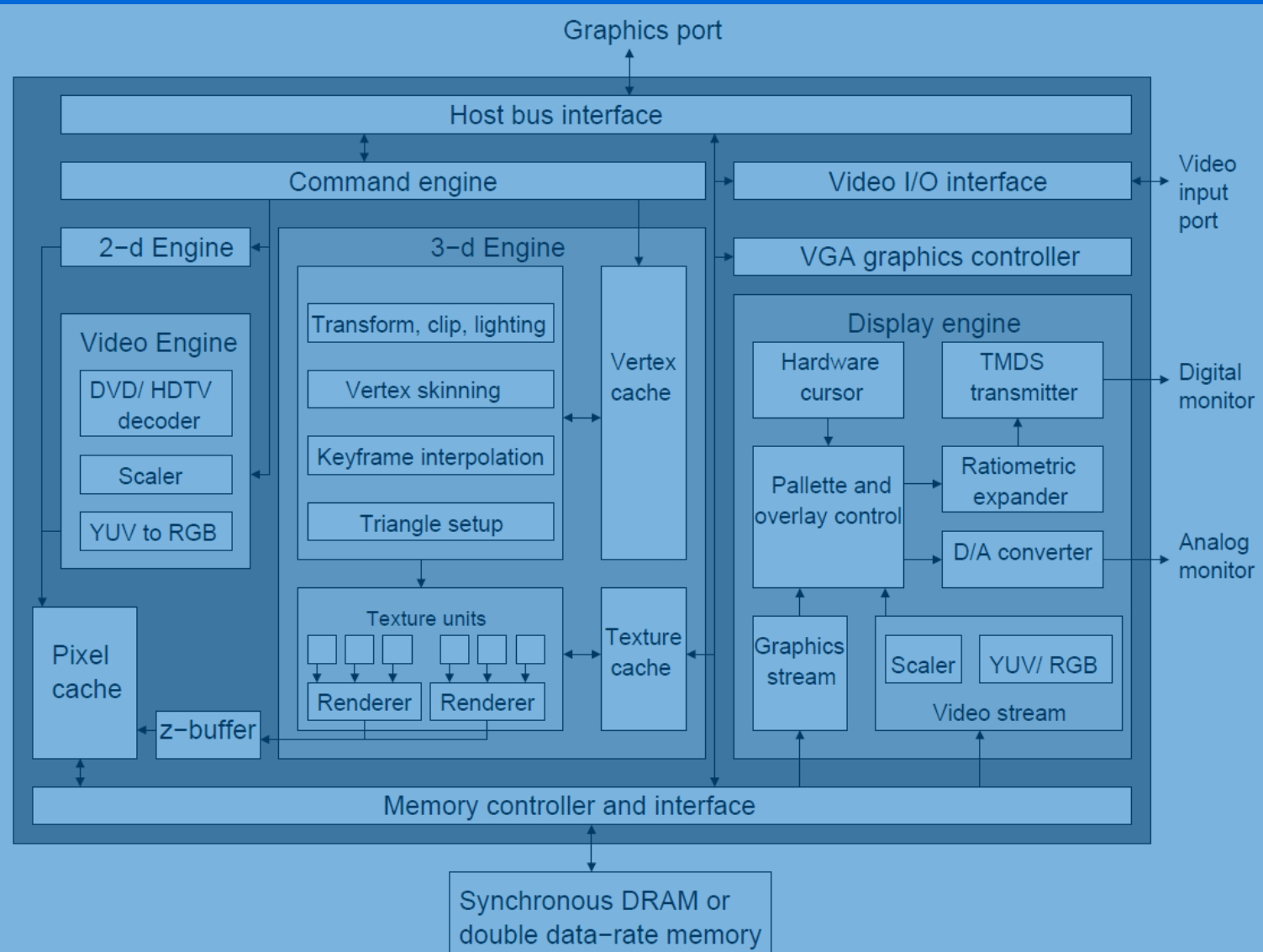
System grafiki rastrowej z procesorem obrazu



Karta graficzna

- Jest odpowiedzialna za generowanie obrazu wyświetlanego przez monitor.
- Główne elementy składowe:
 - płytką drukowaną,
 - procesor graficzny – wspomaganie funkcji graficznych,
 - pamięć wideo – własna pamięć RAM przechowująca informacje o obrazie,
 - układ RAMDAC – pobiera dane o obrazie wygenerowanym przez procesor karty graficznej, zamienia je na sygnały analogowe i wysyła do monitora analogowego (często jest zintegrowany z procesorem w jednej obudowie).
- Kluczowe parametry techniczne:
 - liczba obrazów generowanych w jednostce czasu (szybkość), wielkość pamięci, wyświetlana rozdzielczość obrazu, liczbą dostępnych barw, częstotliwość odświeżania obrazu.

Architektura procesora graficznego

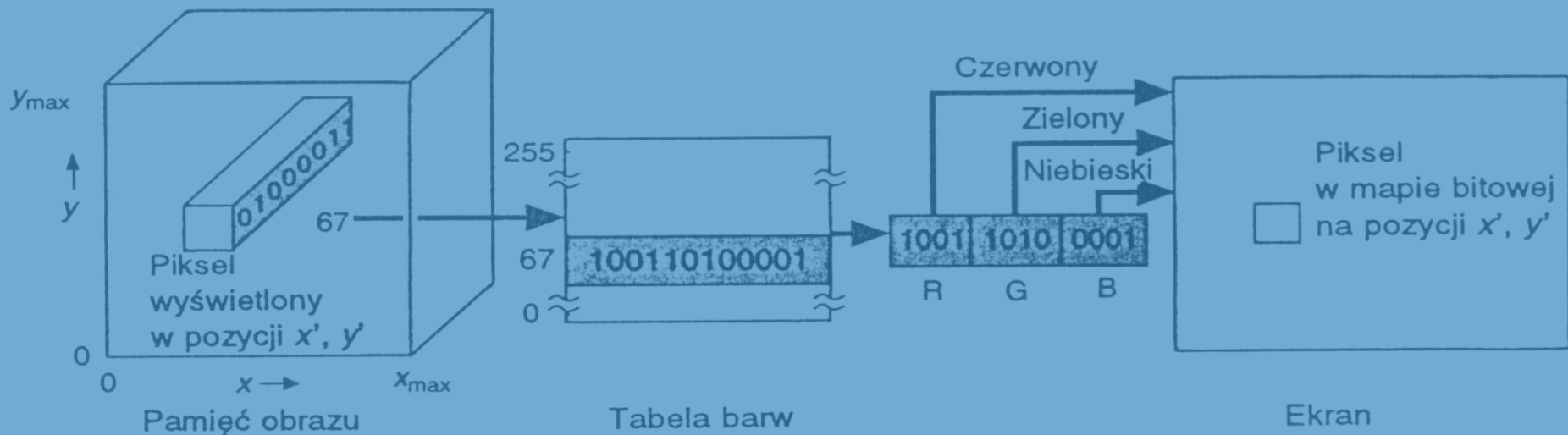


Karty graficzne:

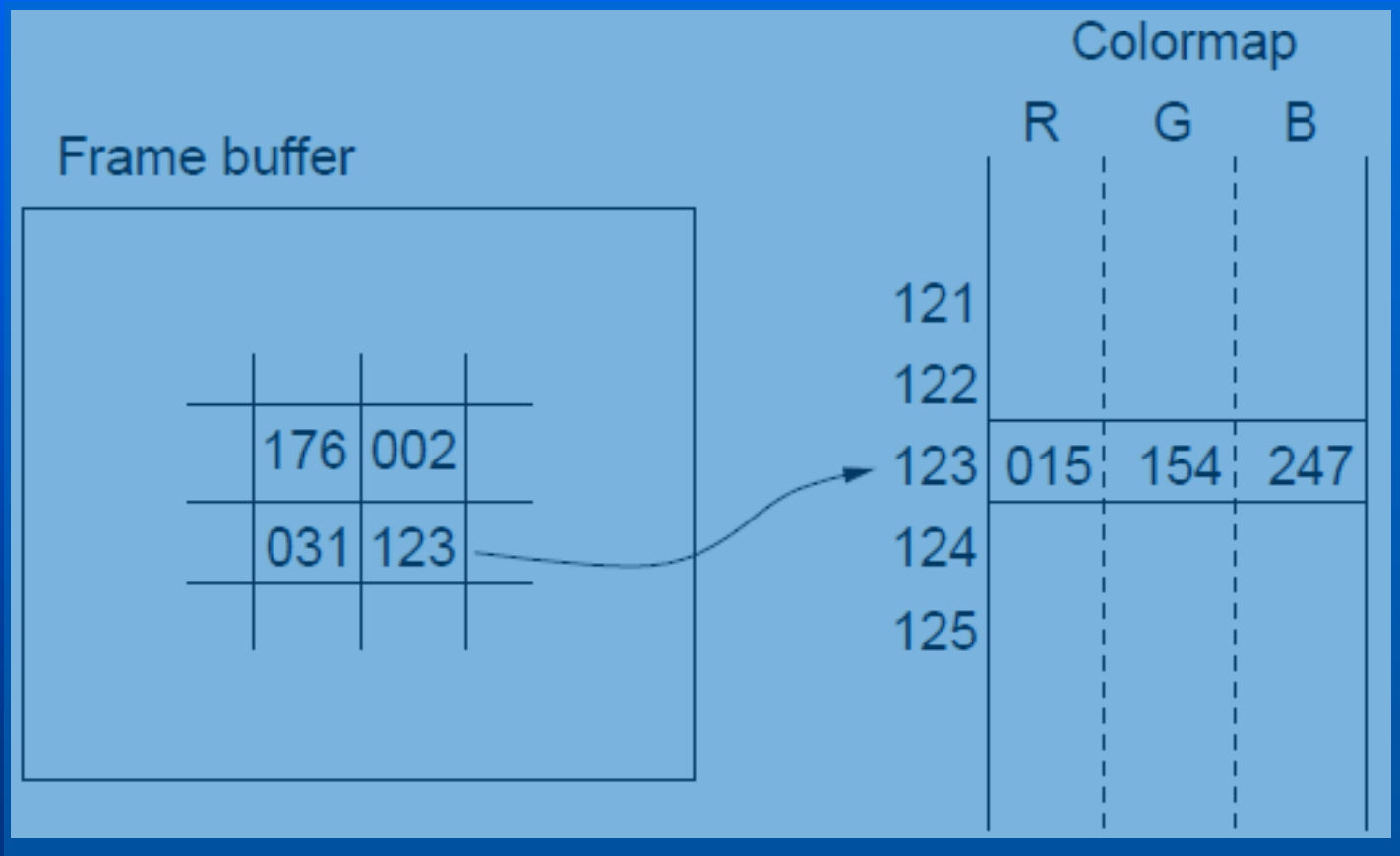
- VGA 640 x 480, monitory 14"
- SVGA 800 x 600 monitor 15"
- XGA 1024 x 768 monitor 17"
- SXGA 1280 x 1024 monitor 19"
- SXGA+ 1400 x 1050 notebooki
- UXGA 1600 x 1200 monitory 21"
- SUXGA 1800 x 1440 monitor 21"
- WMV HD 1920 x 1440 monitor 21"

Palety barw:

- 1 bit - monochromatyczne
- 4 bity - 16 kolorów
- 8 bitów - 256 kolorów z palety
16.7 milionów, pseudokolor
- 16 bitów - kolor pełny, 65 tysięcy
barw (high color)
- 24 bity - kolor wierny, 16.7 milionów
barw (true color)
- 32 bity - w profesjonalnych
zastosowaniach graficznych,
16.7 mln bw + przezroczystość

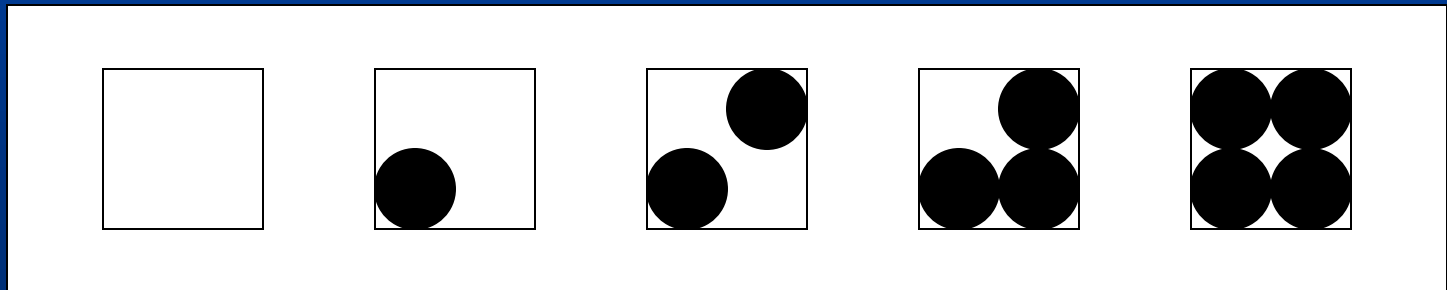


Paleta mapowania barw

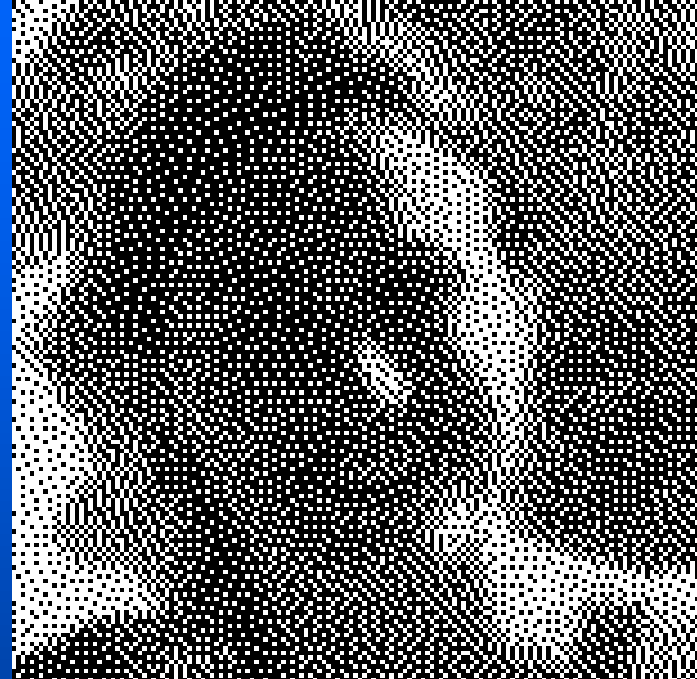


Reprezentacja półtonów

- Aby umożliwić wyświetlanie i drukowanie na urządzeniach o małej palecie barw lub stopni szarości stosuje się metodę rozpraszania (tzw. *dithering*).
- Efekt tonalny uzyskuje się poprzez umieszczanie blisko siebie punktów o barwach uzupełniających się do pożądanego odcienia.



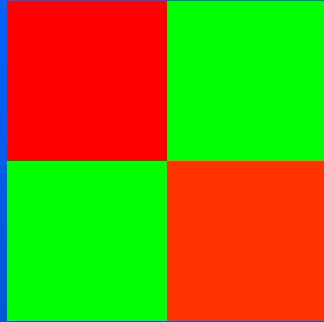
Algorytm Floyd-Steinberga



- $err = S[x][y] - K$
- $S[x + 1][y] \quad += (7/16) \text{ err}$
- $S[x - 1][y - 1] \quad += (3/16) \text{ err}$
- $S[x - 1][y] \quad += (5/16) \text{ err}$
- $S[x - 1][y + 1] \quad += (1/16) \text{ err}$

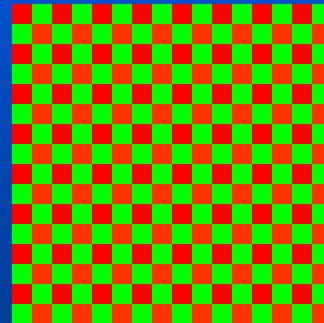
Reprezentacja półtonów

4 kwadraty



zielone
czerwone

256 kwadratów

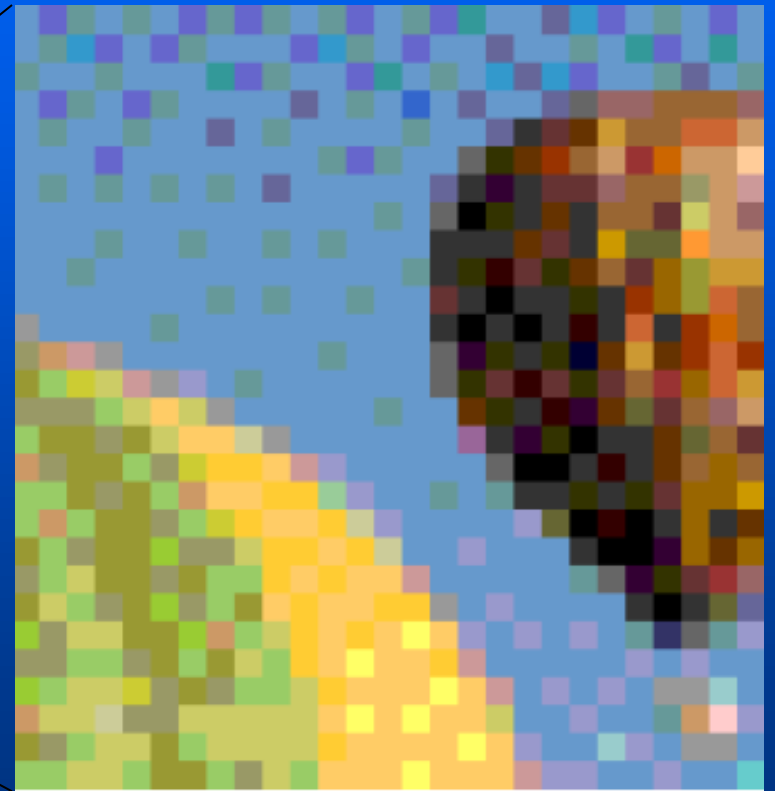


256 kwadratów



żółte?

Wykorzystanie reprezentacji półtonów



Wady odwzorowania

- **Aliasing** – kontrastowe linie ukośne podkreślają granulację rastra, eliminuje się przez wprowadzenie pośrednich odcieni barw pikseli wzdłuż krawędzi (tzw. Antyaliasing).
- **Gamma** – zależność między napięciem działającego elektronowego a jasnością obrazu jest nie liniowa, odpowiednią korektę należy wykonać programowo, inaczej obrazy będą prześwietlone lub odwrotnie (niektóre formaty nie zawierają informacji o tzw. korekcji Gamma).

Antialiasing



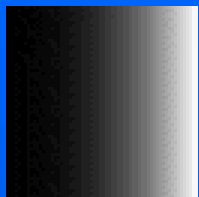
Aliasing – ostre kontury *Antialiasing* – rozmyte kontury

- Piksel jest dzielony na podpiksele
- Barwa piksela jest wyznaczana jako średnia z podpikseli

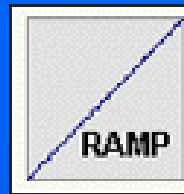
Antialiasing



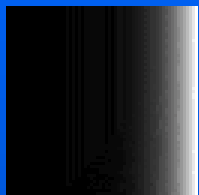
Gamma



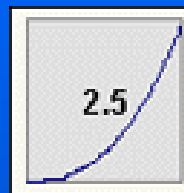
Sygnał wejściowy na monitor



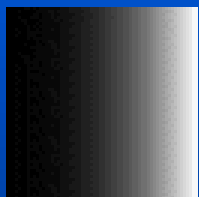
$$L \sim V$$



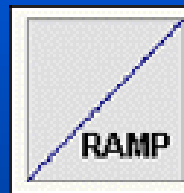
Sygnał wyjściowy z monitora



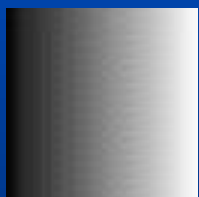
$$L \sim V^{2.5}$$



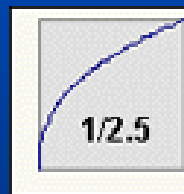
Sygnał wejściowy



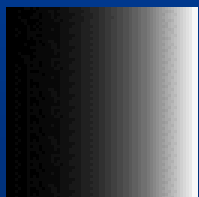
$$L \sim V$$



Sygnał skorygowany



$$L' \sim L^{1/2.5}$$



Sygnał wyjściowy z monitora

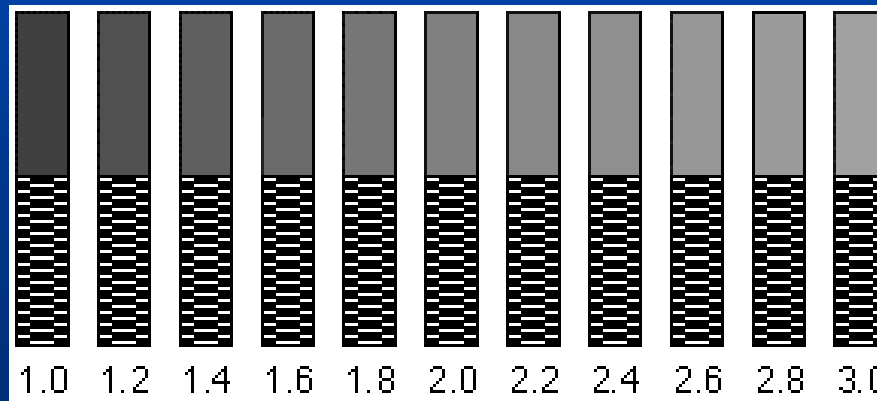


$$L \sim L'^{2.5} \sim V$$

Gamma

- Dla komputerów PC/Sun korekcja gamma powinna wynosić 2.5
- Dla komputerów Macintosh korekcja gamma powinna wynosić 1.8
- Dla komputerów SGI korekcja gamma powinna wynosić 1.5
- Kompromisowa wartość dla grafik WWW to około 2.
- Nowe formaty np. PNG mogą zawierać informację o niezbędnej korekcji (ale przeglądarki muszą umieć to wykorzystać).

Test



Który z pasków
ma równomierną
jasność?

Test Gamma

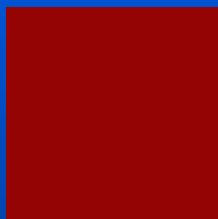
- 50% jasności powinno dawać 50% szarości

	3.0		1.8
	2.8		1.6
	2.6		1.4
	2.4		1.2
	2.2		1.0
	2.0		0.8
	1.8		0.6

Gamma



R:G:B = 8:2:2



R:G:B = 32:1:1



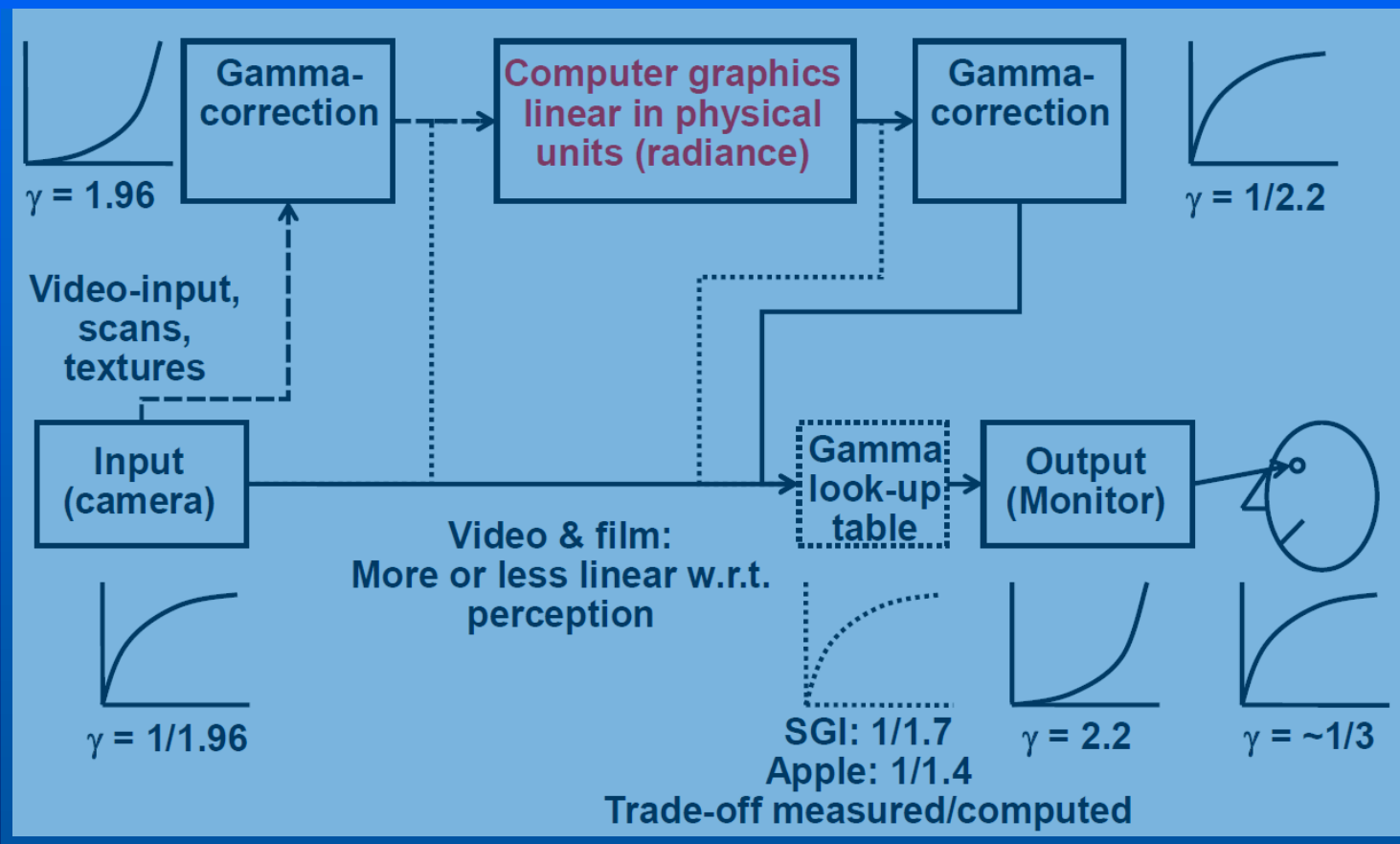
Gamma Correction = 1.0

Źródło	Wynik
R 80%	R 57%
G 20%	G ~0%
B 20%	B ~0%

Gamma Correction = 2.5

Źródło	Wynik
R 80%	R 80%
G 20%	G 20%
B 20%	B 20%

Przebieg konwersji Gamma



Koniec