



**Politechnika Krakowska**

Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej

**Katedra Informatyki Technicznej**

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych  
z przedmiotu:

## **Grafika Komputerowa i Multimedia**

---

Przestrzenie barw

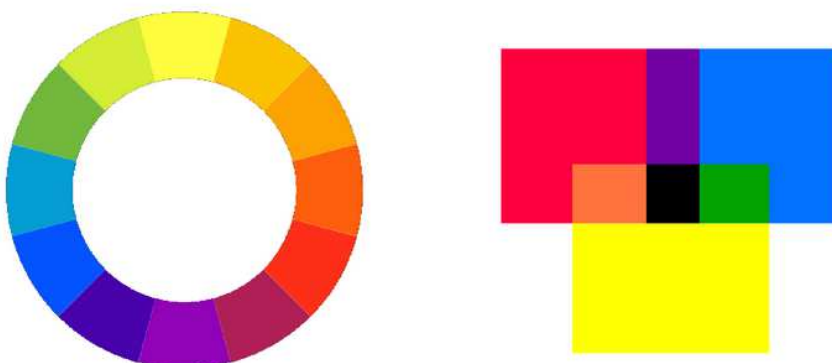
## Przestrzenie barw

Widma fal elektromagnetycznych z zakresu światła widzialnego znalazły swe matematyczne modele w postaci trójwymiarowych przestrzeni barw. Dzięki tym modelom barwę można opisać nie tylko przez podanie jej widma, ale przez modele w różnym stopniu zbliżone do ludzkiej percepcji barwy, związanej z fizjologią oka ludzkiego. Najważniejsze przestrzenie barw ujęto w normach międzynarodowych. Stosuje się je w różnych dziedzinach przemysłu: farbiarskim, tekstylnym, spożywczym, fotografii itd. Utworzono różne modele przestrzeni barw. Oto kilka z nich:

- RGB,
- CMYK,
- CIEXYZ,
- CIELab,
- CIELUV,
- HSB (HSV),
- HLS, HSI,
- YUV oraz YQI.

## Model RYB

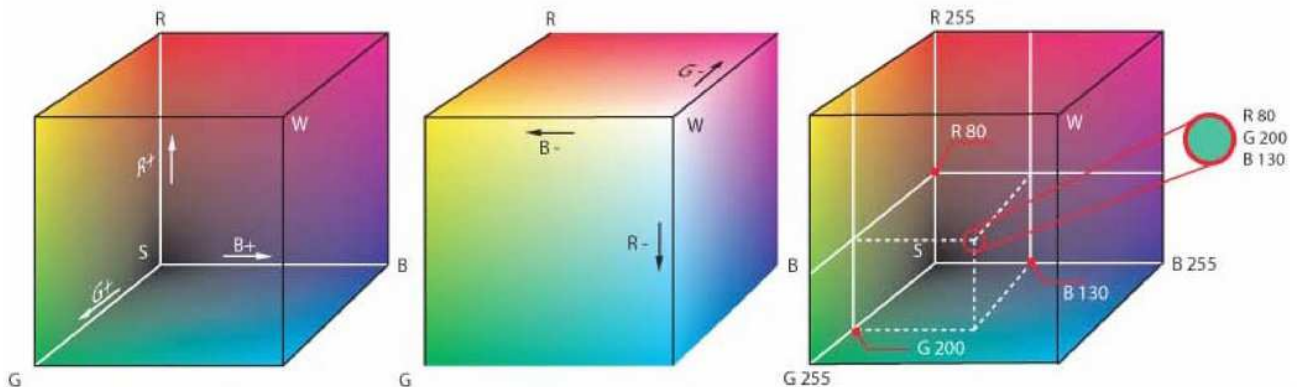
RYB jest historycznym modelem składającym się z barw: Red (czerwonej), Yellow (żółtej) i Blue (niebieskiej), z których składa się model.



Model ten nie jest ani modelem percepcyjnym, ani modelem fizycznym, jest natomiast dość powszechny w sztuce.

## Model RGB

RGB jest to jeden z modeli przestrzeni barw, opisywanej współrzędnymi kartezjańskimi. Nazwa powstała ze złożenia pierwszych liter nazw barw: Red (czerwonej), Green (zielonej) i Blue (niebieskiej), z których składa się model.



Jest to model wynikający z właściwości odbiorczych ludzkiego oka, w którym wrażenie widzenia dowolnej barwy można wywołać przez zmieszanie w ustalonych proporcjach trzech wiązek światła o barwie red, green, blue, czyli światła o odpowiedniej częstotliwości fali elektromagnetycznej.

Z połączenia barw RGB w dowolnych kombinacjach ilościowych można otrzymać szeroki zakres barw pochodnych, np. z połączenia barwy zielonej i czerwonej powstaje barwa żółta.

Do przestrzeni RGB ma zastosowanie synteza addytywna, w której wartości najniższe oznaczają barwę czarną, najwyższe zaś białą.

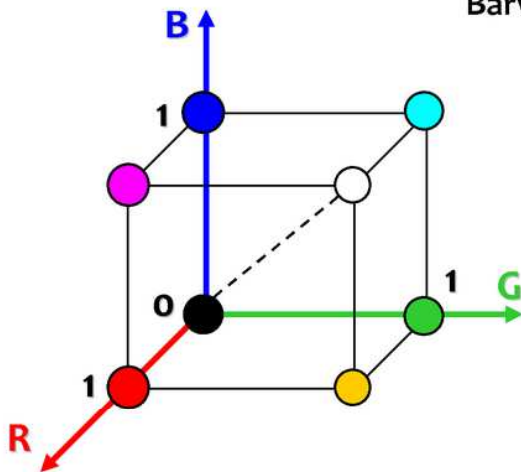


Model RGB jest jednak modelem teoretycznym a jego odwzorowanie zależy od urządzenia (ang. device dependent), co oznacza, że w każdym urządzeniu każda ze składowych RGB może posiadać nieco inną charakterystykę widmową, a co za tym idzie, każde z urządzeń może posiadać własny zakres barw możliwych do uzyskania.

Model RGB miał pierwotnie zastosowanie do techniki analogowej, obecnie ma również do cyfrowej. Jest szeroko wykorzystywany w urządzeniach analizujących obraz (np. aparaty cyfrowe, skanery) oraz w urządzeniach wyświetlających obraz (np. telewizory, monitory komputerowe).

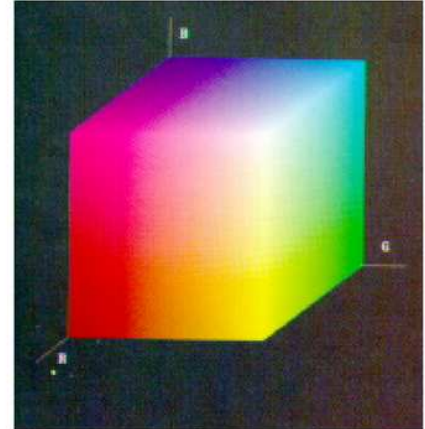
Zapis koloru jako RGB często stosuje się w informatyce (np. palety barw w plikach graficznych, w plikach html). Najczęściej stosowany jest 24-bitowy zapis kolorów, w którym każda z barw jest zapisana przy pomocy składowych, które przyjmują wartość z zakresu 0-255.

## Sześcian RGB



Barwa piksela =  $(r,g,b)$

R =  $(1,0,0)$   
G =  $(0,1,0)$   
B =  $(0,0,1)$   
C =  $(0,1,1)$   
M =  $(1,0,1)$   
Y =  $(1,1,0)$   
czarna =  $(0,0,0)$   
biała =  $(1,1,1)$



## Sprzętowa reprezentacja barwy RGB

Wartość barwy - liczbowa reprezentacja barwy piksela.

Głębokość bitowa - liczba bitów przeznaczona do zapisu wartości barwy.

### Obraz dwubarwny:

- Liczba możliwych do uzyskania barw: 2,
- wartość barwy:  $\{0, 1\}$ ,
- głębokość bitowa: 1.



### Paleta barw

- liczba możliwych do uzyskania barw:  
wybrana z określonej gamy barw, np.  $2^8 = 256$ ,
- wartość barwy:  $\{0, 1, 2, \dots, 255\}$ ,
- głębokość bitowa: 8.





## True Color

- liczba możliwych do uzyskania barw:  $2^{8 \times 3} = 16\,777\,216$ ,
- wartość barwy:  $\{R, G, B\}$ , gdzie  $R, G, B \in \langle 0, 255 \rangle$ ,
- głębokość bitowa: 24.



## Hi Color

- liczba możliwych do uzyskania barw:  $2^{3 \times 5}$  lub  $2^{(5+6+5)} = 32\,768$  lub  $65\,536$ ,
- wartość barwy:  $\{R, G, B\}$ ,
- głębokość bitowa: 15 lub 16.

## Model CMYK

CMYK to zestaw czterech podstawowych kolorów farb drukarskich stosowanych powszechnie w druku kolorowym w poligrafii i metodach pokrewnych (atramenty, tonery i inne materiały barwiące w drukarkach komputerowych, kserokopiarkach itp.).

Na zestaw tych kolorów mówi się również barwy procesowe lub kolory triadowe (kolor i barwa w jęz. polskim to synonimy). CMYK to jednocześnie jeden z trybów koloru w pracy z grafiką komputerową.

Barwy wynikowe w metodzie CMYK otrzymuje się poprzez łączenie barw podstawowych w proporcjach (dla każdej z nich) od 0% do 100%. Farby CMYK to substancje barwiące przepuszczające światło, czyli barwniki, tak więc łączy się je nie metodą mieszania tylko nakładania warstwami i dlatego barwa wynikowa może mieć od 0% do aż 400% koloru (czyli kolorów składowych).

Na kolory budowane wg CMYK należy patrzeć jak na warstwy kolorowej, przepuszczającej światło folii – synteza subtraktywna.



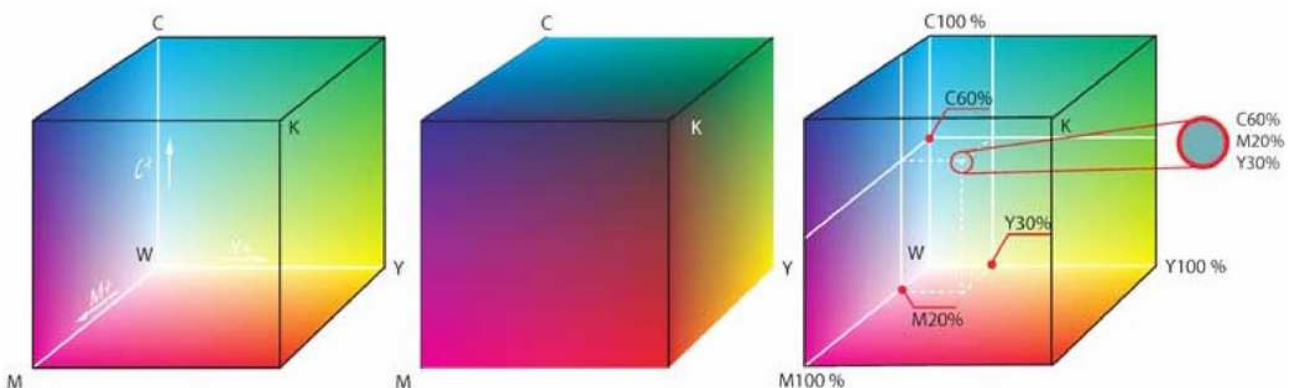
Skrót CMYK powstał jako złożenie pierwszych liter angielskich nazw kolorów: Cyan (cyjan), Magenta (madżenta), Yellow (żółty), prócz koloru czarnego, z którego wzięto literę ostatnią –

black, ponieważ litera B jest skrótem jednego z podstawowych kolorów w analogicznym skrócie RGB (inne, mniej popularne i chyba mniej przekonujące rozwinięcia skrótu K to Key color, Karbon lub Kontur.)

Dokładnych odpowiedników barw C, M, Y i K nie ma w języku polskim, są to specjalnie stworzone kolory na użytek przemysłu dla umożliwienia oddawania (poprzez łączenie ich w różnych proporcjach) jak największej liczby barw natury.

Absolutnie wszystkich istniejących w naturze barw nie uda się uzyskać metodą mieszania barw CMYK z wielu różnych powodów, z których najważniejszym jest brak możliwości uzyskania w praktyce farb teoretycznych o absolutnej czystości koloru.

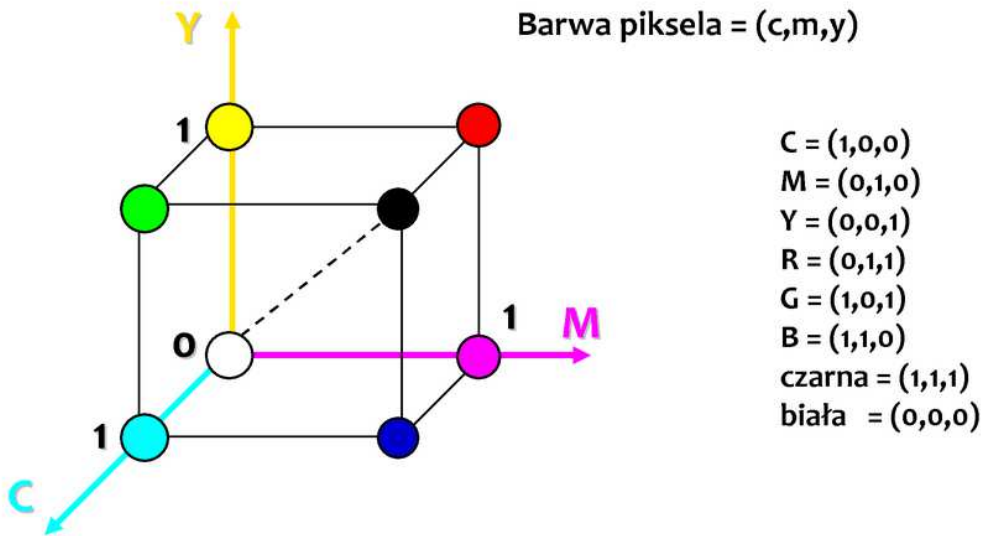
Idealnie czyste kolory C, M, Y – są barwami dopełniającymi dla trzech barw prostych najsilniej odbieranych przez receptory ludzkiego oka. Kolor ostatni – K – został dołożony do pozostałych trzech na praktyczne potrzeby przemysłu poligraficznego.



Farby w ww. kolorach nie są określone jednoznacznie, toteż odcienie ich kolorów różnią się u różnych producentów, szczególnie w różnych regionach świata.

Teoretycznie można uzyskać kolor czarny przez złożenie kolorów C+M+Y, ale w praktyce tak uzyskany kolor czarny jest kolorem ciemno-brudno-brązowym. Poza tym ekonomicznie nieuzasadnione byłoby drukowanie czarnego tekstu za pomocą składania barw CMY (takie ciekawostki bywały stosowane, np. w drukarkach atramentowych...).




**Sześcian CMY**



Aby poprawić kolorystykę druku do atramentów C, M, Y dołączono atrament czarny K (black), który zastępuje (całkowicie lub częściowo) tą część atramentów C, M, Y, które w barwie CMY tworzą neutralną szarość.

Maksymalnie można więc dodać:  $k_{max} = \{c, m, y\}_{min}$

W modelu CMY równe ilości trzech barw podstawowych (c=m=y) tworzą neutralną szarość, która w modelu CMYK jest generowana przez czwartą barwę podstawową K (black - czarny).

	C	M	Y		C	M	Y	K	
	(		0.2	0.5	)	(	0.2	0.5	)
+									
	(	0.4	0.4	0.4	)	(			0.4
	(	0.4	0.6	0.9	)	(	0.2	0.5	0.4

$$CMY = (c, m, y) \rightarrow CMYK = (c - k, m - k, y - k, k)$$

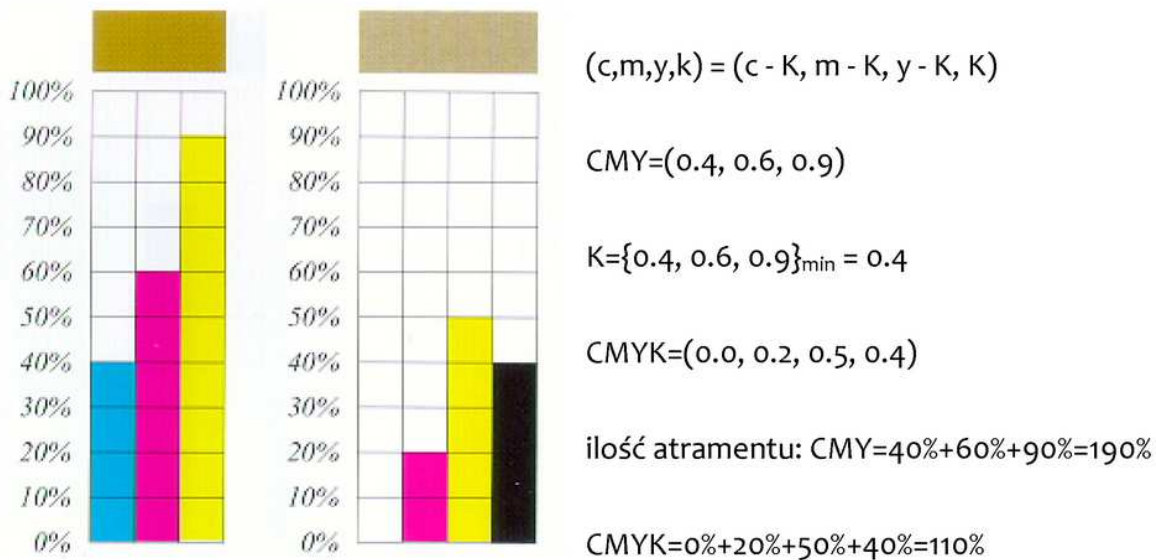
$$k_{max} = \{c, m, y\}_{min}$$

**Procedury generowania czerni:**

- **UCR** (Under Color Removal) - usuwanie koloru neutralnego.
- **GCR** (Gray Component Replacement) - zamiana szarego składnika.



**UCR** odtwarza neutralną szarość jedynie przy pomocy czarnego atramentu:



Aby czarny atrament nie powodował brudnego wyglądu świateł, UCR stosuje się od określonego poziomu neutralnej szarości ( $0.5 \div 0.6$ ).

**GCR** odtwarza tylko część neutralnej szarości przy pomocy czarnego atramentu:

$$(c, m, y, k) = (c - g, m - g, y - g, g)$$

gdzie  $g = s\% K$ ,  $s$  - zadany stopień wycofywania neutralnej szarości.

Przykład:

$$CMY = (0.4, 0.6, 0.9), \quad s = 50\%$$

$$K = 0.4, \quad g = 50\% \cdot 0.4 = 0.2$$

$$CMYK = (0.2, 0.4, 0.7, 0.2)$$

ilości atramentu:  $CMY = 190\%$ ,  $CMYK = 150\%$

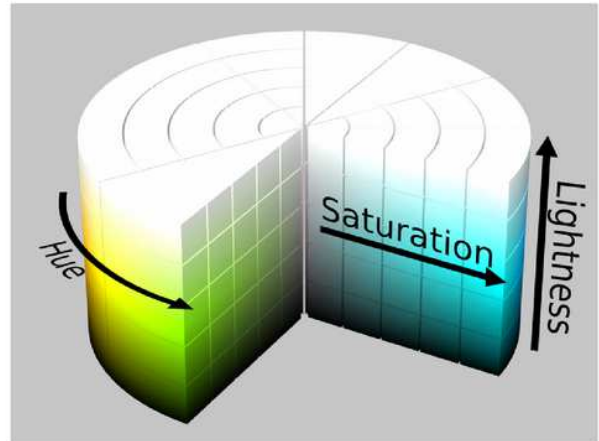


## Model HLS

HLS to model barw, zwany także HSL którego trzy składowe opisują kolejno

- Hue (wskazuje częstotliwość fali światła),
- Lightness (średnie światło białe),
- Saturation (nasylenie).

Został stworzony w latach 1930/1931 głównie w celu ułatwienia wyboru konkretnej barwy przez użytkownika, jako pochodna niewygodnego w tym zastosowaniu i mało intuicyjnego modelu RGB.



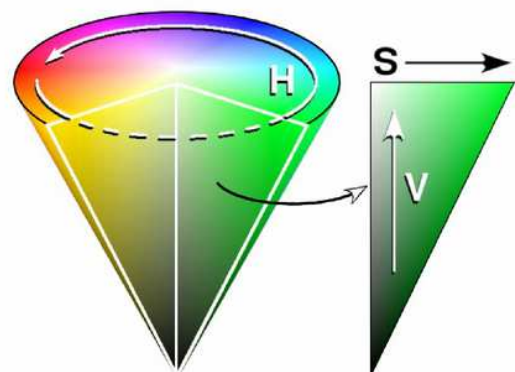
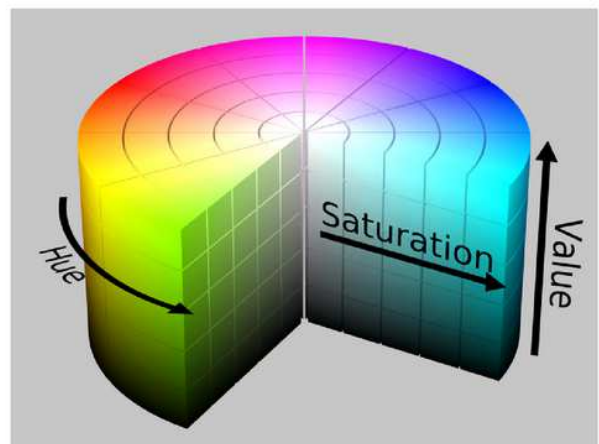
## Model HSV (HSB)

HSV (Hue Saturation Value) to model opisu przestrzeni barw zaproponowany w 1978 roku przez Alveya Raya Smitha.

Model HSV nawiązuje do sposobu, w jakim widzi ludzki narząd wzroku, gdzie wszystkie barwy postrzegane są jako światło pochodzące z oświetlenia. Według tego modelu wszelkie barwy wywodzą się z światła białego, gdzie część widma zostaje wchłonięta a część odbita od oświetlanych przedmiotów.

Symbole w nazwie modelu to pierwsze litery nazw angielskich dla składowych opisu barwy. H to częstotliwość światła (Hue) wyrażona kątem na kole barw przyjmująca wartości od  $0^\circ$  do  $359^\circ$ .

Model jest rozpatrywany jako stożek (lub ostrosłup), którego podstawą jest koło barw.



Wymiary stożka opisuje składowa S – nasycenie koloru (Saturation) jako promień podstawy oraz składowa V (Value) równoważna nazwie B (Brightness) – moc światła białego jako wysokość stożka.

Przyporządkowanie częstotliwości fal świetlnych na kole barw w modelu HSV jest takie same jak w modelach HLS lub HSL, tzn. centrum barwy czerwonej odpowiada kąt  $0^\circ$  lub  $360^\circ$ . Centrum barwy zielonej odpowiada kąt  $120^\circ$ . Centrum barwy niebieskiej odpowiada kąt  $240^\circ$ . Pozostałe barwy pośrednie dla składowej Hue są odpowiednio rozłożone pomiędzy kolorami czerwonym, zielonym i niebieskim.

### Modele YUV (PAL) · YDbDr (SECAM) · YIQ (NTSC)

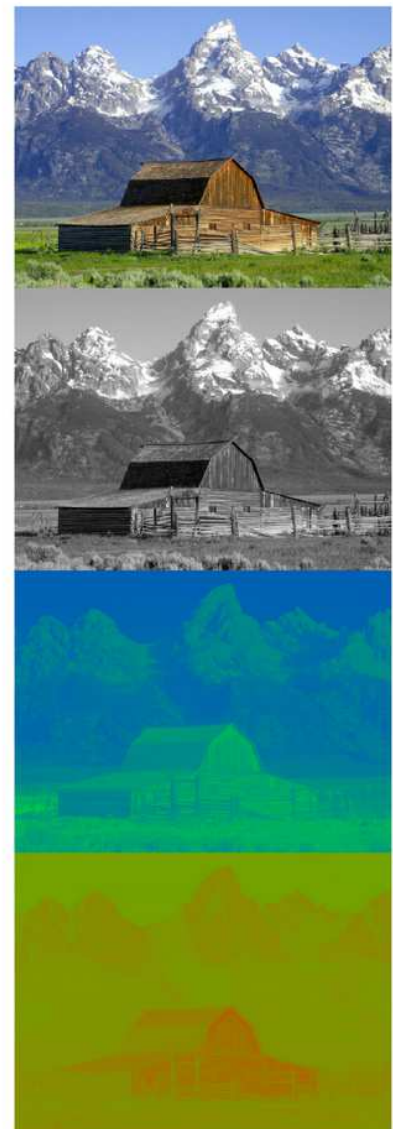
YUV (i pochodne) to model barw, w którym Y odpowiada za jasność obrazu (luminancję), a pod pozostałymi składowymi zaszyta jest barwa - dwie chrominancje.

Model YUV był wykorzystywany w czasie przechodzenia od czarno-białych odbiorników na kolorowe. Czarno-białe odbiorniki wyświetlały jedynie jasność obrazu, a kolorowe dodawały kolor, co pozwoliło posiadaczom czarno-białych nie pozbywać się odbiorników od razu.

Odwzorowanie RGB->YUV->RGB:

$$\begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & -0.10001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.13983 \\ 1 & -0.39465 & -0.58060 \\ 1 & 2.03211 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix}$$

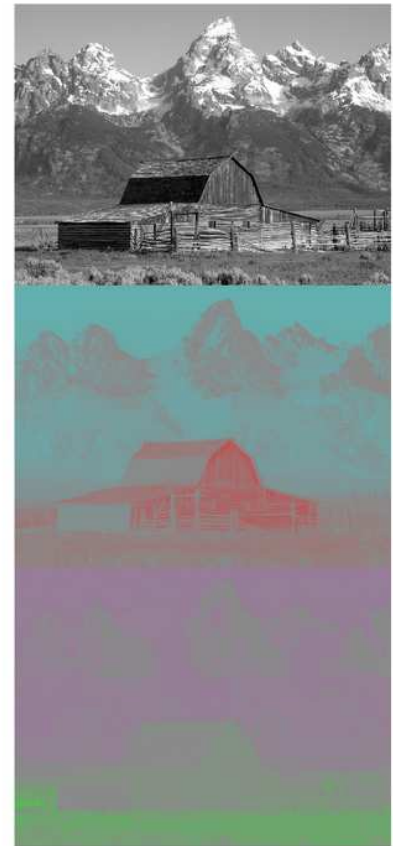




Odwzorowanie RGB->YIQ->RGB:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.595716 & -0.274453 & -0.321263 \\ 0.211456 & -0.522591 & 0.311135 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.9563 & 0.6210 \\ 1 & -0.2721 & -0.6474 \\ 1 & -1.1070 & 1.7046 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$



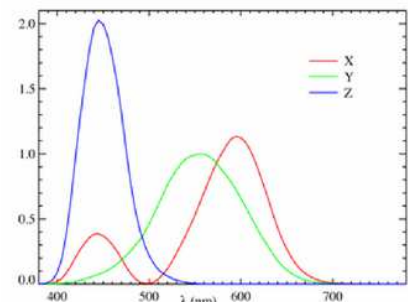
Odwzorowanie RGB->YD<sub>B</sub>D<sub>R</sub>->RGB:

$$\begin{bmatrix} Y \\ D_B \\ D_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.450 & -0.883 & 1.333 \\ -1.333 & 1.116 & 0.217 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.000092303716148 & -0.525912630661865 \\ 1 & -0.129132898890509 & 0.267899328207599 \\ 1 & 0.664679059978955 & -0.000079202543533 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ D_B \\ D_R \end{bmatrix}$$

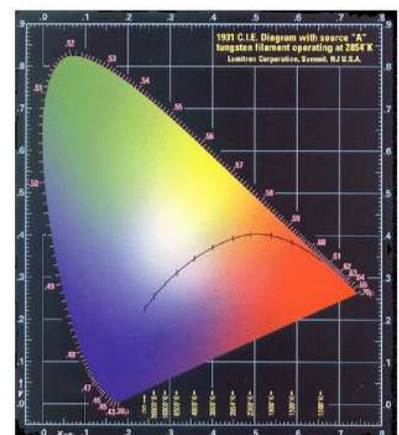
## Model CIEXYZ

CIEXYZ to przestrzeń barw stworzona przez CIE – Międzynarodową Komisję Oświetleniową (Commission Internationale de l'Eclairage). Przyjmuje się ją jako standard i punkt odniesienia do innych przestrzeni barw utworzonych przez tę komisję (CIELUV, CIELab).



Barwę w sposób jednoznaczny opisuje się we współrzędnych X, Y, Z, przy czym współrzędne X, Y to współrzędne chromatyczności a Z – jasności. Litery CIE przed XYZ to skrót nazwy Komisji.

Prace nad zagadnieniem postrzegania różnicy barw Writhta (1941), MacAdama (1942), Silesa (1946) doprowadziły do zagadnienia równomierności przestrzeni barw.





Jeśli w przestrzeni CIEXYZ wyznaczymy obszary różnicy percepcyjnej barw, wówczas powstaną elipsoidy różnej wielkości (elipsoidy MacAdama): w obszarze barw zielonych o stosunkowo dużej średnicy, w obszarze barw niebieskich o stosunkowo małej średnicy.

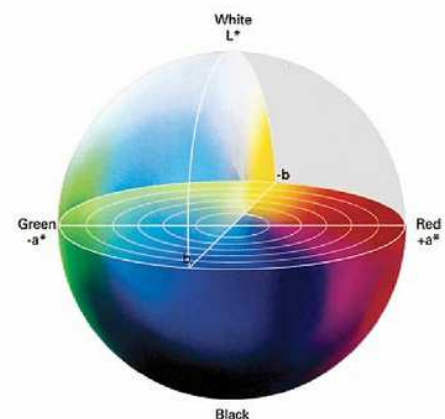
Oznacza to, że dwa punkty w przestrzeni CIEXYZ w przypadku barw zielonych mogą określać barwy pomiędzy którymi ludzkie oko nie dostrzega różnicy barw (czyli jest to subiektywnie jedna barwa), natomiast dwa punkty tak samo oddalone w przestrzeni barw CIEXYZ w obrębie barw niebieskich mogą być odebrane jako subiektywnie dwie różne barwy.

## Model CIELab

Przestrzeń CIELab to przestrzeń barw, która została znormalizowana w 1976 przez CIE. CIELab stanowi matematyczną transformację przestrzeni CIEXYZ.

Transformację tę wprowadzono jako wynik badań nad spostrzeganiem przez oko ludzkie różnicy między barwami.

Zakładano, że barwy znajdujące się w przestrzeni CIELab w jednakowej odległości  $\Delta E$  od siebie będą postrzegane jako jednakowo różniące się od siebie. Zatem CIELab miała być równomierną przestrzenią barw.



De facto przestrzeń CIELab jest jedynie zalecana jako równomierna przestrzeń barw.

Dowodem nierównomierności tej przestrzeni jest fakt, że różnicy percepcyjnej barw nie można jednoznacznie określić za pomocą  $\Delta E$ . Barwę opisują matematycznie trzy składowe: L - jasność