

# Matematyczne Podstawy Grafiki Komputerowej. Percepcja wizualna i modele barw

Aleksander Denisiuk  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
Olsztyn, ul. Słoneczna 54  
[denisjuk@matman.uwm.edu.pl](mailto:denisjuk@matman.uwm.edu.pl)

# *Percepcja wizualna i modele barw*

Percepcja informacji  
wizualnej

---

Modele barw

---

Najnowsza wersja tego dokumentu dostępna jest pod adresem

<http://wmii.uwm.edu.pl/~denisjuk/uwm>

## Percepcja informacji wizualnej

- ❖ informacja wizualna
- ❖ Percepcja barwy
- ❖ Teoria trzech kolorów
- ❖ Teoria procesu przeciwnego
- ❖ Metameryzm

Modele barw

# Percepcja informacji wizualnej

# Percepcja informacji wizualnej

Percepcja informacji  
wizualnej

❖ informacja  
wizualna

- ❖ Percepcja barwy
- ❖ Teoria trzech kolorów
- ❖ Teoria procesu przeciwstawnego
- ❖ Metameryzm

Modele barw

- zmysł wzroku
  - ◆ oko
  - ◆ receptory: czopki i pręciki
- informacja wizualna
  - ◆ tekstowa
  - ◆ obrazowa

# Źródło informacji wizualnej

Percepcja informacji wizualnej

❖ informacja wizualna

❖ Percepcja barwy

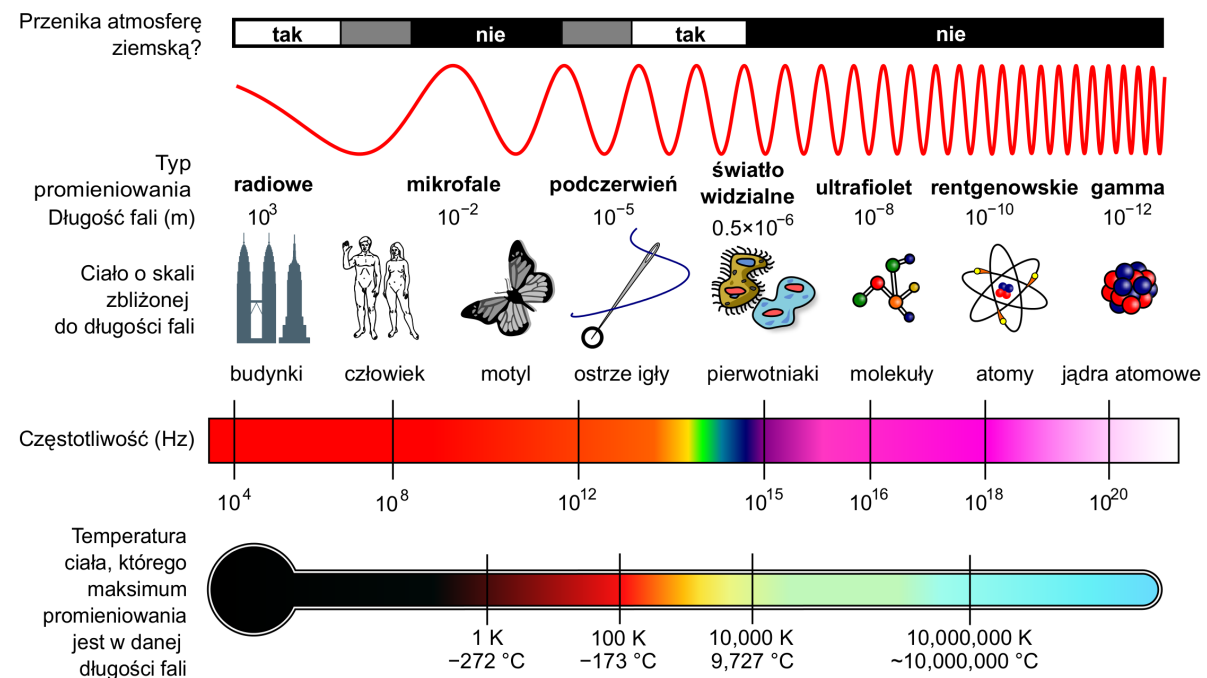
❖ Teoria trzech kolorów

❖ Teoria procesu przeciwstawnego

❖ Metameryzm

Modele barw

- promieniowanie fotonowe, fale elektromagnetyczne
  - ◆ promieniowanie monochromatyczne
  - ◆ barwa



# Rozszczepienie i skupienie światła

Percepcja informacji  
wizualnej

❖ informacja  
wizualna

- ❖ Percepcja barwy
- ❖ Teoria trzech kolorów
- ❖ Teoria procesu przeciwnego
- ❖ Metameryzm

Modele barw

- Izaak Newton, 1666 r



# Siedem kolorów

Percepcja informacji  
wizualnej

❖ informacja  
wizualna

❖ Percepcja barwy

❖ Teoria trzech  
kolorów

❖ Teoria procesu  
przeciwstawnego

❖ Metameryzm

Modele barw

- **czzerwony**, 760 ÷ 620 nm
- **pomarańczowy**, 620 ÷ 585 nm
- **żółty**, 585 ÷ 575 nm
- **zielony**, 575 ÷ 500 nm
- **niebieski**, 500 ÷ 445 nm
- **granatowy**, 445 ÷ 425 nm
- **fioletowy**, 425 ÷ 380 nm

# Barwy proste, złożone i podstawowe

Percepcja informacji  
wizualnej

❖ informacja  
wizualna

- ❖ Percepcja barwy
- ❖ Teoria trzech kolorów
- ❖ Teoria procesu przeciwnego
- ❖ Metameryzm

Modele barw

- prosta reprezentuje jedną długość fali
- złożona — poprzez mieszanie barw
- podstawowe — trzy barwy, poprzez mieszanie można uzyskać wrażenie dowolnej barwy, a poprzez mieszanie dwóch nie można uzyskać trzeciej
- ludzkie oko nie rozróżnia barw prostych od złożonych



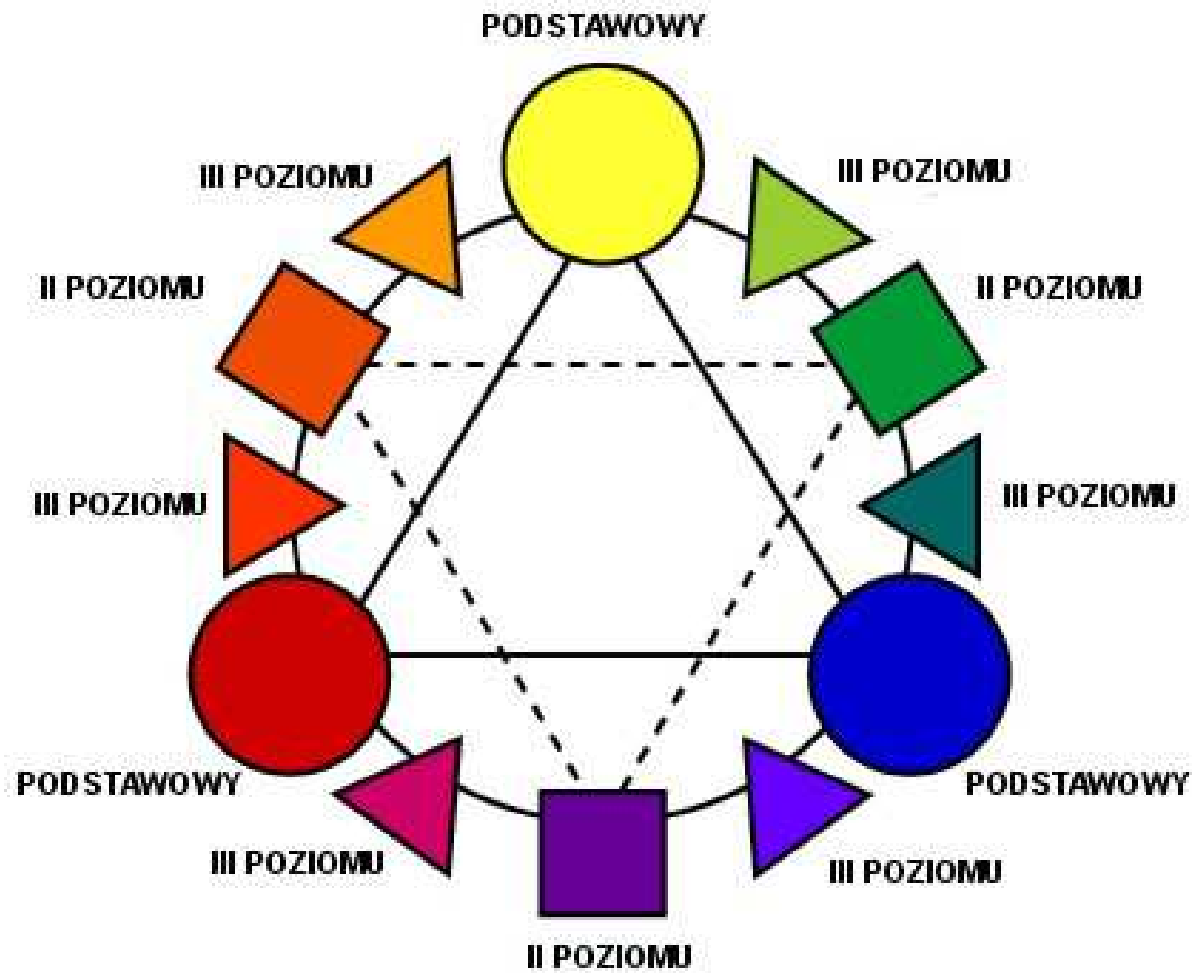
# Koło barw

Percepcja informacji wizualnej

❖ informacja wizualna

- ❖ Percepcja barwy
- ❖ Teoria trzech kolorów
- ❖ Teoria procesu przeciwnego
- ❖ Metameryzm

Modele barw



# Światło pierwotne i wtórne

Percepcja informacji  
wizualnej

❖ informacja  
wizualna

❖ Percepcja barwy

❖ Teoria trzech  
kolorów

❖ Teoria procesu  
przeciwstawnego

❖ Metameryzm

Modele barw

- obiekty samoświecające się
- odbijające lub rozpraszające światło na nie padające

# Percepcja barwy

## Percepcja informacji wizualnej

---

❖ informacja wizualna

### ❖ Percepcja barwy

❖ Teoria trzech kolorów

❖ Teoria procesu przeciwnego

❖ Metameryzm

## Modele barw

---

- nośnikiem percepcji wizualnej jest światło
- wrażenie wzrokowe wywołuje cały skład widma wpadającego do oka
- sposób percepcji jest złożoną funkcją

# *Sposób percepcji brawy zależy od*

Percepcja informacji  
wizualnej

---

❖ informacja  
wizualna

❖ **Percepcja barwy**

❖ Teoria trzech  
kolorów

❖ Teoria procesu  
przeciwstawnego

❖ Metameryzm

Modele barw

---

- właściwości źródła światła
- właściwości ośrodka i odległości między źródłem a obiektem
- zdolności fizycznych obiektu do odbijania i/lub pochłaniania światła o określonej długości fal
- właściwości otaczających obiektów
- stanu oka i systemu wzrokowego
- charakterystyk transmisyjnych receptorów i ośrodków nerwowych
- poprzednich doświadczeń przy obserwowaniu podobnego obiektu

# Wrażenie barwy

Percepcja informacji  
wizualnej

❖ informacja  
wizualna

❖ Percepcja barwy

❖ Teoria trzech  
kolorów

❖ Teoria procesu  
przeciwstawnego

❖ Metameryzm

Modele barw

- obiekt jest oświetlany przez światło
- powierzchnia obiektu pochłania wszystkie składowe oprócz odpowiadających obiektowi, a ten odbija je do detektora
- detektor (oko) odbiera odbite światło i sygnalizuje to mózgowi
- mózg wywołuje pewne wrażenie barwne
  - ◆ całkowicie odbite
  - ◆ całkowicie pochłonięte
  - ◆ częściowo odbite i częściowo pochłonięte

# Wzrok i właściwości widzenia

Percepcja informacji wizualnej

❖ informacja wizualna

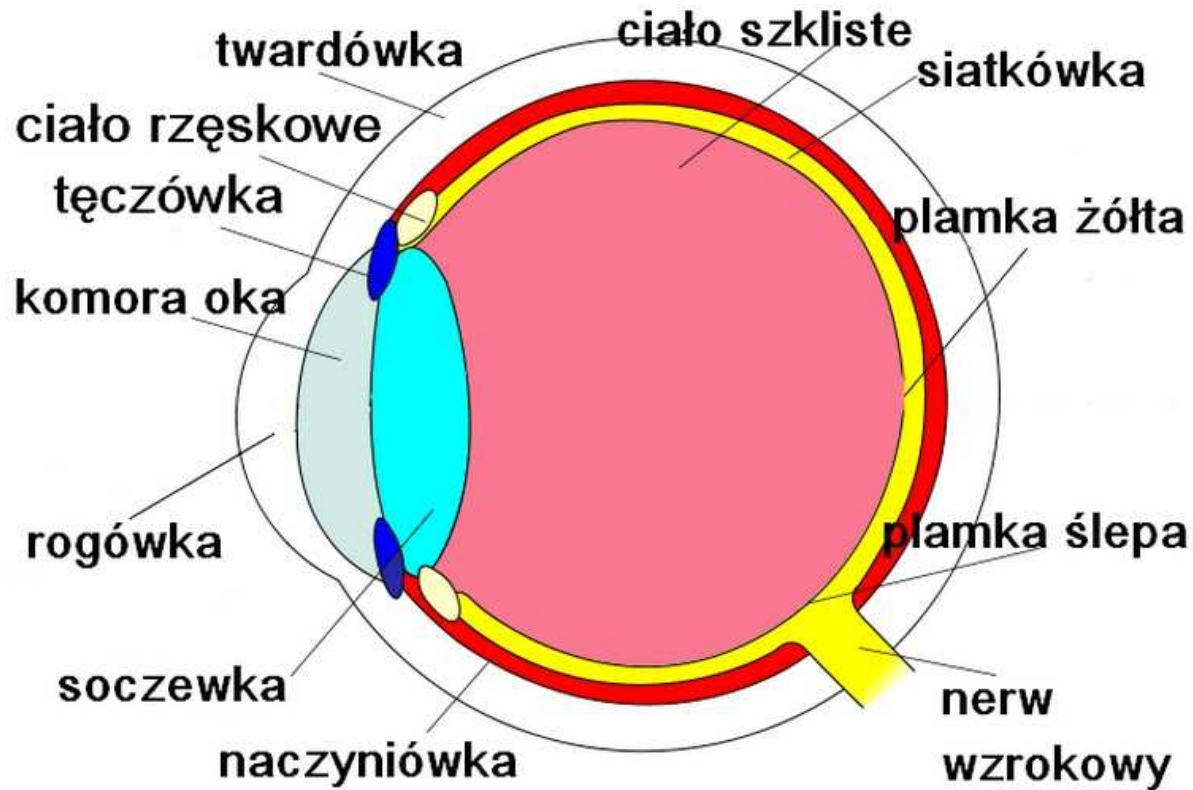
❖ **Percepcja barwy**

❖ Teoria trzech kolorów

❖ Teoria procesu przeciwnego

❖ Metameryzm

Modele barw



# Receptory

Percepcja informacji wizualnej

❖ informacja wizualna

❖ Percepcja barwy

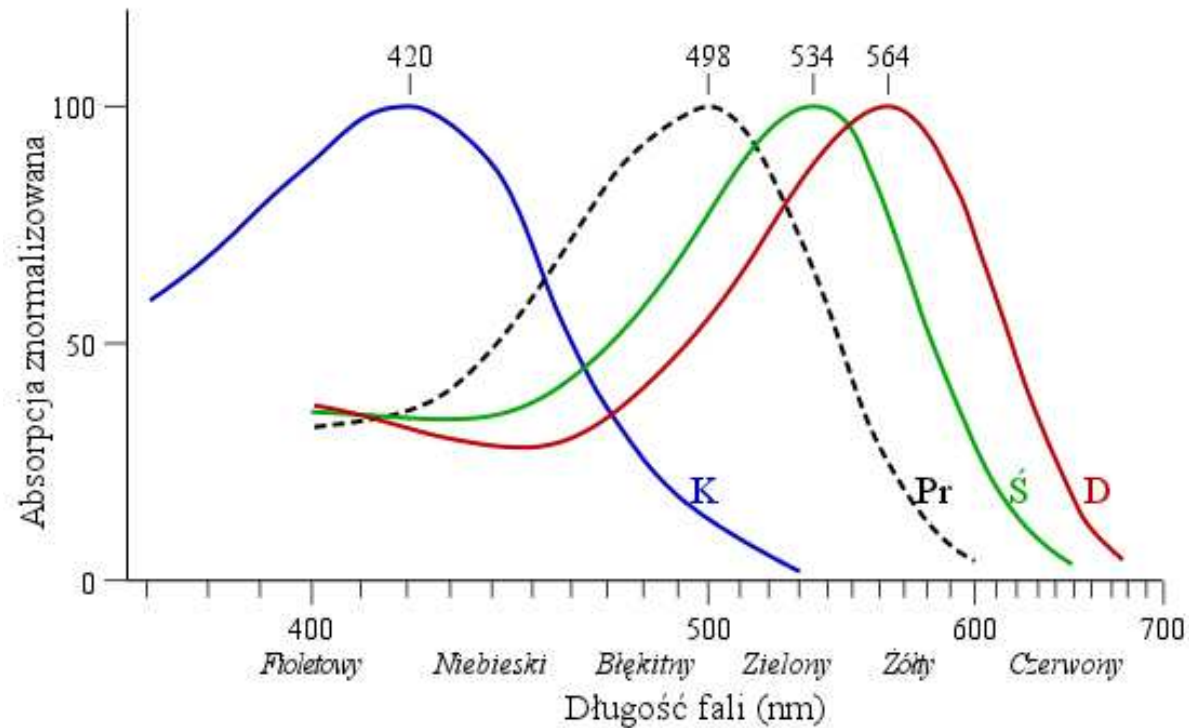
❖ Teoria trzech kolorów

❖ Teoria procesu przeciwstawnego

❖ Metameryzm

Modele barw

- pręciki — oświetlenie słabe
- czopki — oświetlenie intensywne, trzy rodzaje



# Teoria trzech kolorów

Percepcja informacji  
wizualnej

---

❖ informacja  
wizualna

❖ Percepcja barwy

❖ Teoria trzech  
kolorów

❖ Teoria procesu  
przeciwstawnego

❖ Metameryzm

Modele barw

---

- G. Palmer, 1777
- T. Young, 1801
- Helmholtz, 1850

$(R, G, B) \mapsto \text{barwa}$



# Mieszanie barw

Percepcja informacji  
wizualnej

❖ informacja  
wizualna

❖ Percepcja barwy

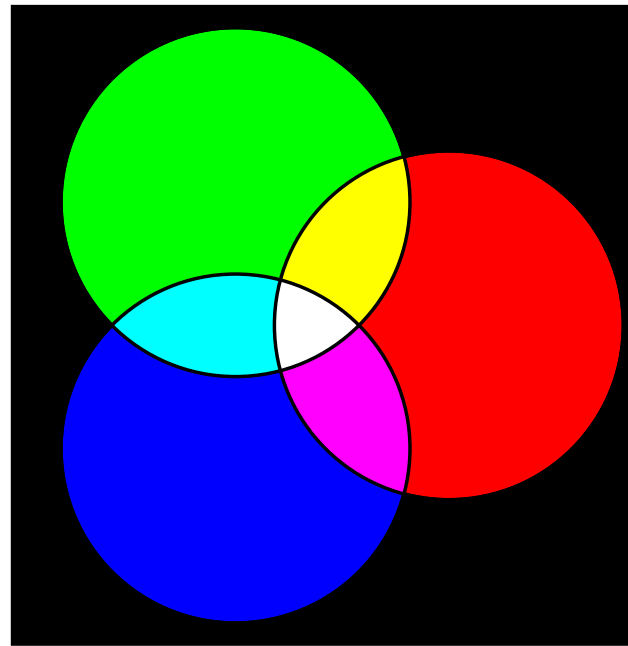
❖ Teoria trzech  
kolorów

❖ Teoria procesu  
przeciwstawnego

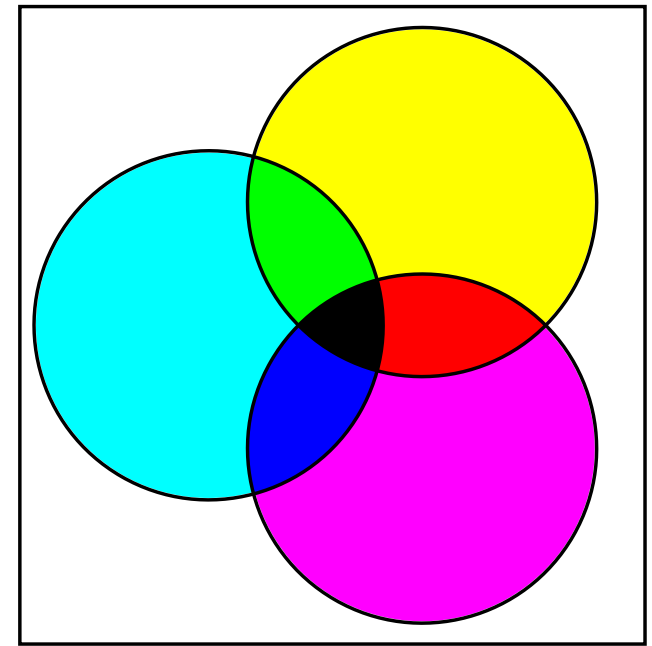
❖ Metameryzm

Modele barw

- synteza addytywna.
- synteza subtraktywna.



(a)



(b)

Figure VI.1: (a) The additive colors are red, green, and blue. (b) The subtractive colors are cyan, magenta, and yellow. See color plate C.2.

# Teoria procesu przeciwstawnego

Percepcja informacji  
wizualnej

---

- ❖ informacja wizualna
- ❖ Percepcja barwy
- ❖ Teoria trzech kolorów
- ❖ Teoria procesu przeciwstawnego
- ❖ Metameryzm

Modele barw

---

- Ewald Hering, 1878

ciemny ↔ jasny

*R* ↔ *G*

*B* ↔ *Y*

# Metameryzm

## Percepcja informacji wizualnej

---

- ❖ informacja wizualna
- ❖ Percepcja barwy
- ❖ Teoria trzech kolorów
- ❖ Teoria procesu przeciwstawnego
- ❖ **Metameryzm**

## Modele barw

---

- różne barwy dają to same barwne wrażenie
- różny odbiór barwy (np. zawartej w farbie) uzależniony od rodzaju światła.
- dwie substancje barwiące, oglądane w tym samym oświetleniu, odczytywane są jako zbliżone, w innym oświetleniu jako różniące się między sobą.

**Modele barw**

- ❖ Modele barw
- ❖ Modele techniczne
- ❖ Modele percepcyjne
- ❖ Modele teoretyczne

# Modele barw

# Modele barw

Percepcja informacji  
wizualnej

---

Modele barw

---

❖ Modele barw

❖ Modele techniczne

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

- określony trójwymiarowy układ współrzędnych barwowych wraz z widzialnym podzbiorem
- RGB, CMY(K), YUV, YIQ
- HSV, HLS
- CIE

# Model RGB

Percepcja informacji wizualnej

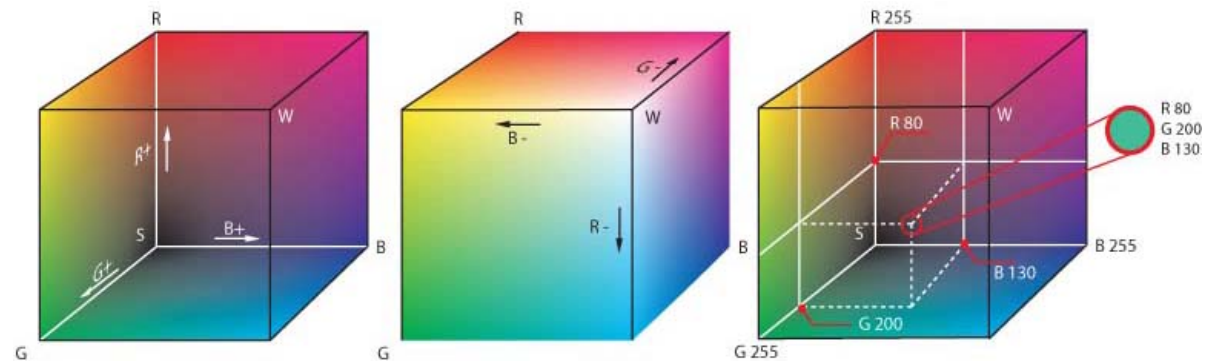
Modele barw

❖ Modele barw

❖ Modele techniczne

❖ Modele percepcyjne

❖ Modele teoretyczne



- 32 (24) bitów (true color, millions of colors)  
 $8R + 8G + 8B + 8\alpha$
- 16 bitów (high color, thousands of colors)  
 $5R + 5G + 5B + 1\alpha$
- 8 bitów  $3R + 3G + 2B$

# Color Lookup Table

Percepcja informacji  
wizualnej

---

Modele barw

---

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

- CLUT (LUT)
- Barwy *indeksowane*.
- GIF, PNG  $k$ -bitowy index
  - ◆ kompresja

# Web-safe Colors

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

## bezpieczna paleta kolorów

Każda liczba złożona z par 00, 33, 66, 99, CC oraz FF odpowiada barwie “bezpiecznej”.

$$6^3 = 216$$





# sRGB

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

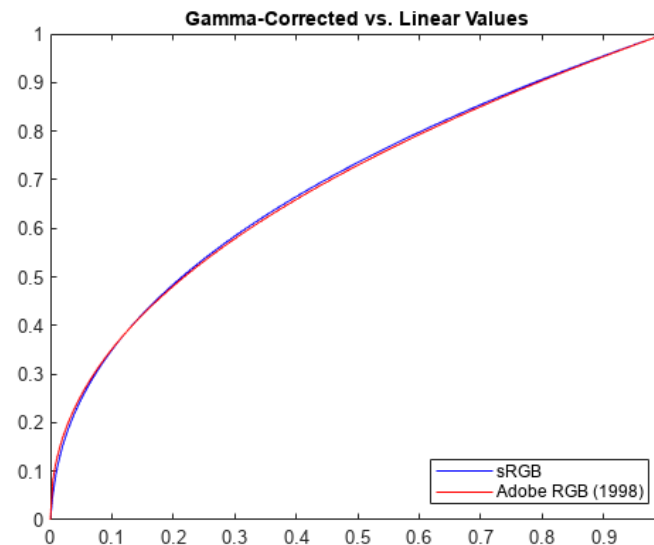
❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

- HP, Microsoft 1996
- Odmiana RGB

$$C_{\text{srgb}} = \begin{cases} 12,92C, & C \leq 0.0031308 \\ (1,055)C^{1/2,4} - 0,055, & C > 0.0031308 \end{cases}$$

- Alternatywa: Adobe RGB



# *sRGB a Adobe RGB*

Percepcja informacji  
wizualnej

---

Modele barw

---

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

**Linear RGB**



**sRGB**



**Adobe RGB (1998)**



# Model CMYK

Percepcja informacji wizualnej

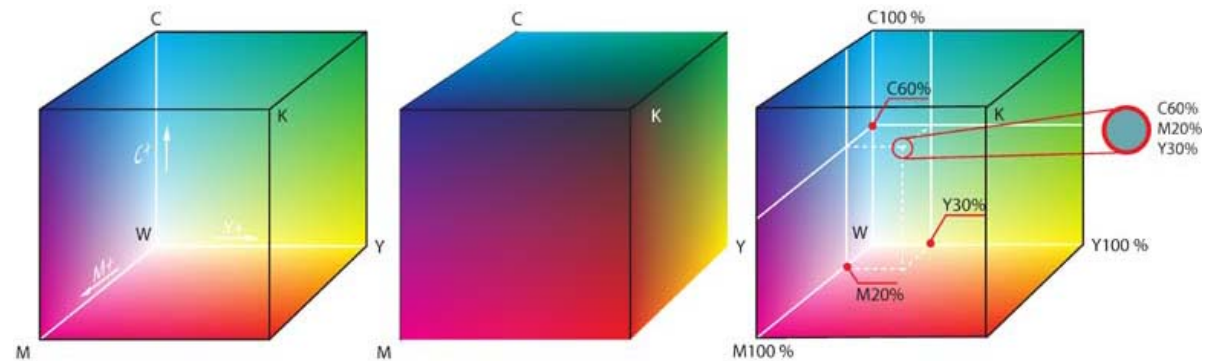
Modele barw

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

❖ Modele percepcyjne

❖ Modele teoretyczne



$$\begin{cases} C & = 1 - R \\ M & = 1 - G \\ Y & = 1 - B \end{cases}$$

- Procedura generowania czerni (component colors replacement, ccr)

# Modele telewizyjne

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

## ● YUV

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,14713 & -0,28886 & 0,436 \\ 0,615 & -0,51499 & -0,10001 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

## ● PAL

# YUV, przykład

Percepcja informacji  
wizualnej

---

Modele barw

---

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne



# YIQ

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

- Luminance-Inphase-Quadrature

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,596 & -0,275 & -0,321 \\ 0,212 & -0,528 & 0,311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

- NTSC

# YCbCr

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

❖ Modele barw

❖ **Modele techniczne**

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

- systemy fotograficzne i wideo

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,0 & 0,0 & 1,40210 \\ 1,0 & -0,34414 & -0,71414 \\ 1,0 & 1,77180 & 0,0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ C_b - 128 \\ C_r - 128 \end{pmatrix}$$

- podstawa JPEG

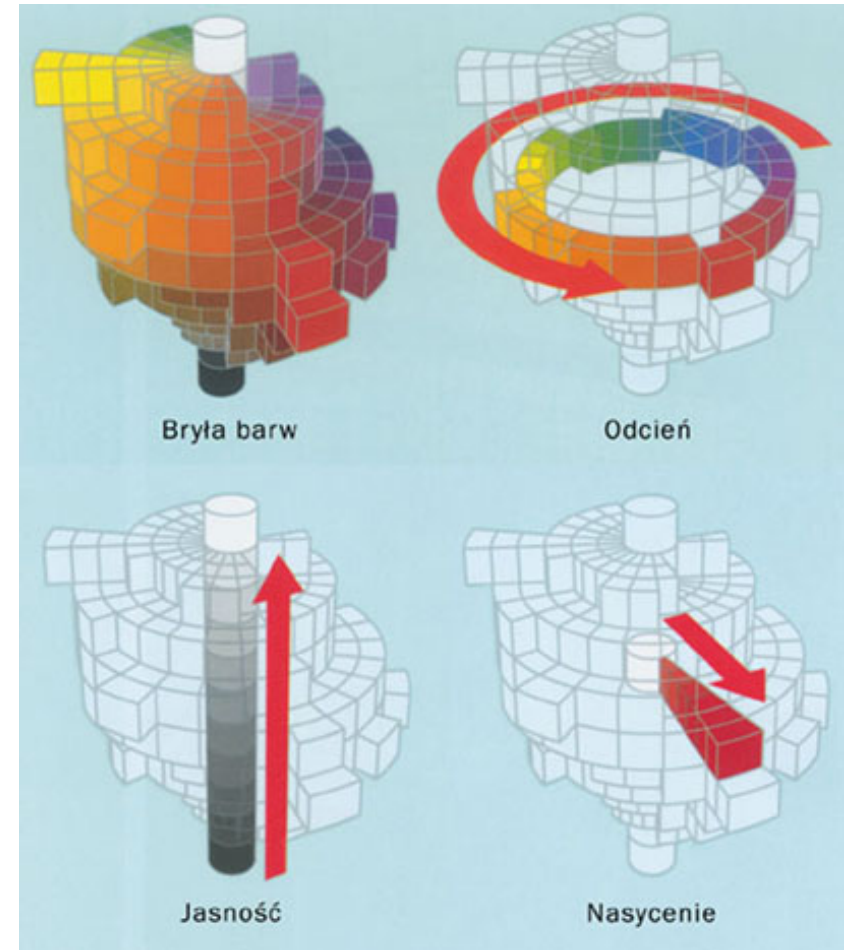
# Percepcyjne atrybuty barwy

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

- ❖ Modele barw
- ❖ Modele techniczne
- ❖ Modele percepcyjne
- ❖ Modele teoretyczne

- odcień
- nasycenie
- jasność (jaskrawość)





# Model HSV

Percepcja informacji  
wizualnej

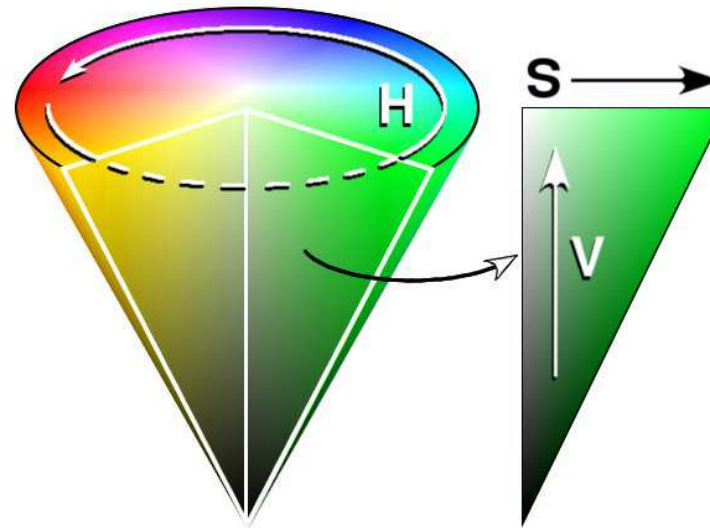
Modele barw

❖ Modele barw

❖ Modele techniczne

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne



- Hue — Odcień ( $0^{\circ}$ – $360^{\circ}$ )
- Saturation — nasycenie (0–1)
- Value (Brightness) — jaskrawość

# Model HSL

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

❖ Modele barw

❖ Modele techniczne

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

- Hue — Odcień ( $0^{\circ}$ – $360^{\circ}$ )
- Saturation — nasycenie (0–1)
- Luminance — luminancja (średnie światło białe, 0–1)

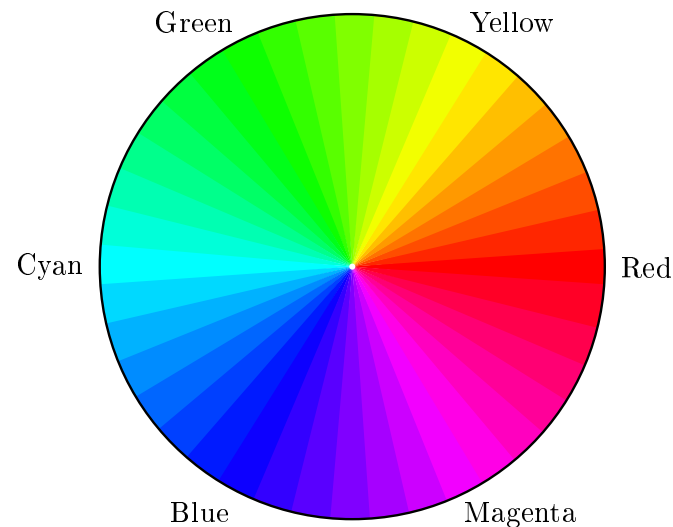


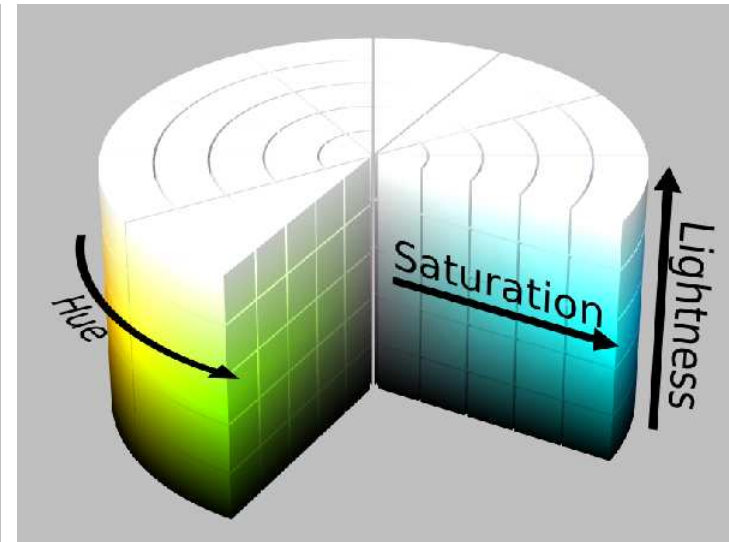
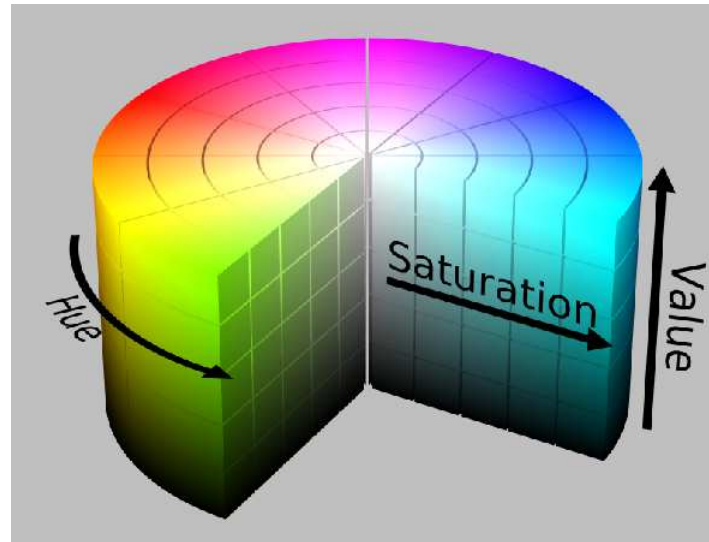
Figure VI.2: Hue is measured in degrees, representing an angle around the color wheel. Pure red has hue equal to 0, pure green has hue equal to 120, and pure blue has hue equal to 240. See color plate C.3.

# HSV a HSL

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

- ❖ Modele barw
- ❖ Modele techniczne
- ❖ Modele percepcyjne
- ❖ Modele teoretyczne



# RGB $\rightarrow$ HSL

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

❖ Modele barw

❖ Modele techniczne

❖ Modele  
percepcyjne

❖ Modele  
teoretyczne

**Wejście:**  $R, G, B$

**Wynik:**  $H, S, L$

$Max \leftarrow \max\{R, G, B\}$

$Min \leftarrow \min\{R, G, B\}$

$\Delta \leftarrow Max - Min$

$L \leftarrow \frac{Max + Min}{2}$

**if**  $Max == Min$  **then**

$S \leftarrow 0; H \leftarrow 0$

**else**

**if**  $L < \frac{1}{2}$  **then**

$S \leftarrow \frac{\Delta}{Max + Min}$

**else**

$S \leftarrow \frac{\Delta}{2 - Min - Max}$

**end if**

**if**  $R == Max$  **then**

$H \leftarrow 60 \frac{G - B}{\Delta}$

**if**  $H < 0$  **then**

$H = 360 + H$

**end if**

**else if**  $G == Max$  **then**

$H \leftarrow 120 + 60 \frac{B - R}{\Delta}$

**else**

$H \leftarrow 240 + 60 \frac{R - G}{\Delta}$

**end if**

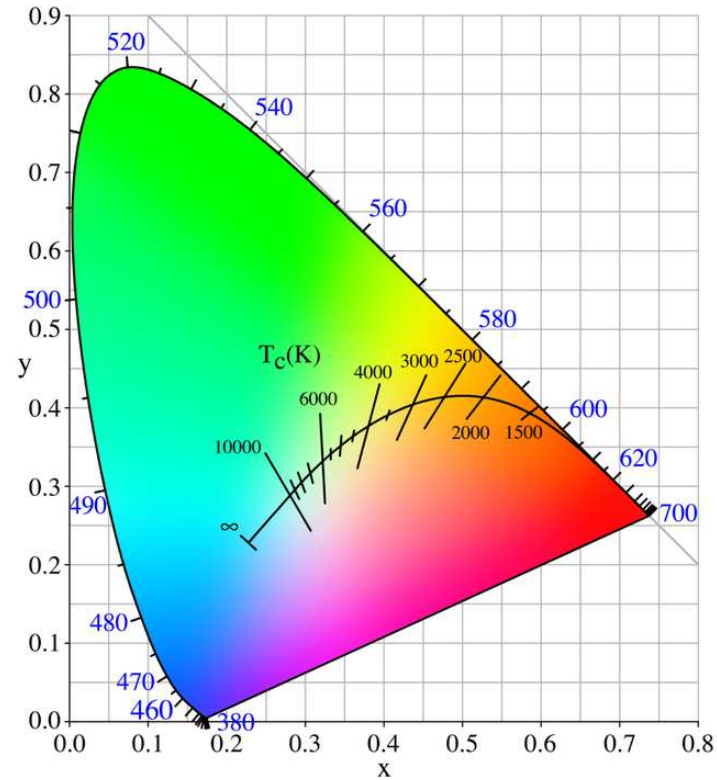
**end if**

# Standard CIE

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

- ❖ Modele barw
- ❖ Modele techniczne
- ❖ Modele percepcyjne
- ❖ Modele teoretyczne



- 1931, Commission Internationale de l'Éclairage: CIE-RGB, CIE-XYZ

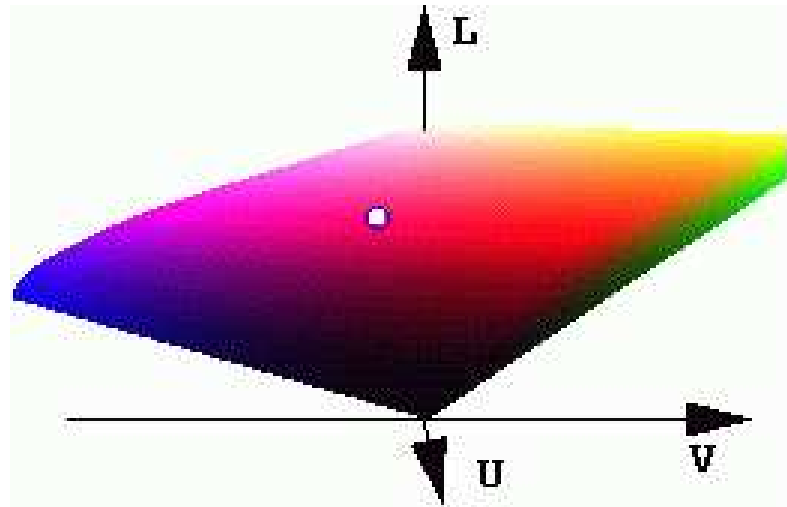
# Przestrzeń barw percepcyjnie równomierne

Percepcja informacji wizualnej

Modele barw

- ❖ Modele barw
- ❖ Modele techniczne
- ❖ Modele percepcyjne
- ❖ Modele teoretyczne

## ● CIE-Lu\*v\* (LUV)



# CIE- $L^*a^*b^*$ (LAB)

Percepcja informacji  
wizualnej

Modele barw

- ❖ Modele barw
- ❖ Modele techniczne
- ❖ Modele percepcyjne
- ❖ Modele teoretyczne

