

Wizualizacja danych

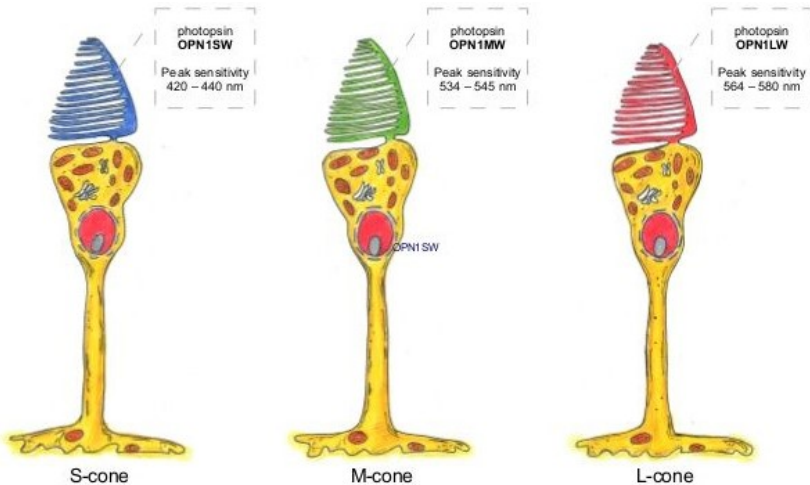
Wykład 5: Teoria koloru

Mariusz Tarnopolski

Instytut Astronomii UMK

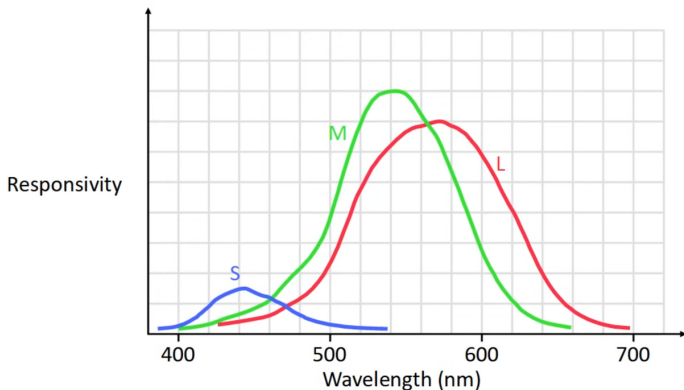
DataViz, 2024/2025





Trójbodźcowy system barw

(Tristimulus color system)

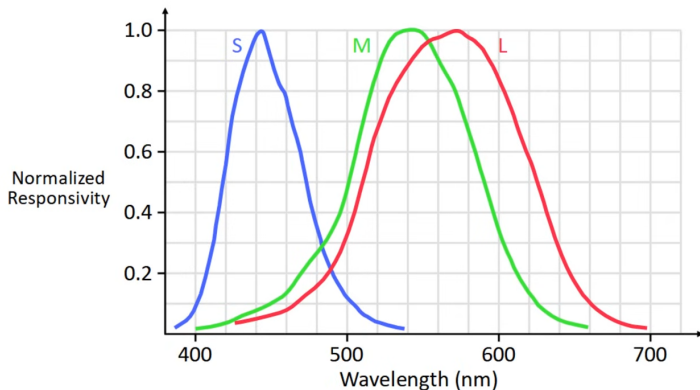


Nixon & Aguado, Feature Extraction and Image Processing for Computer Vision (Rozdz. 11); <https://medium.com/hipster-color-science/a-beginners-guide-to-colorimetry-401f1830b65a>;

<https://www.youtube.com/watch?v=gnUYoQ1pwes>

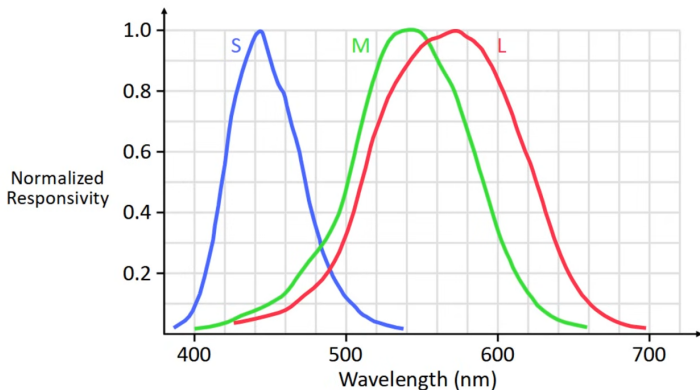
Trójbodźcowy system barw

(Tristimulus color system)



Trójbodźcowy system barw

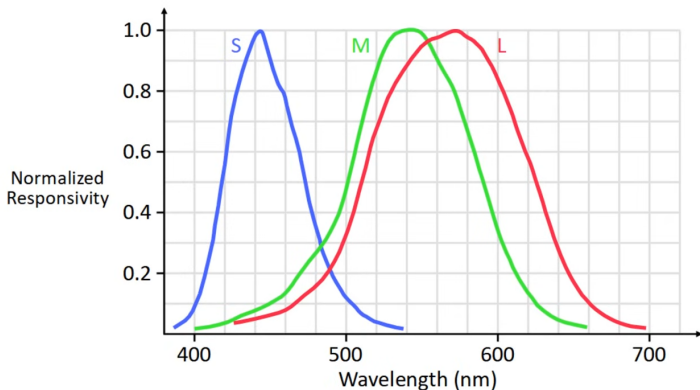
(Tristimulus color system)



To jest uśredniony model odbioru barw — poszczególni ludzie mają różną wrażliwość na różne barwy;

Trójbodźcowy system barw

(Tristimulus color system)



To jest uśredniony model odbioru barw — poszczególni ludzie mają różną wrażliwość na różne barwy; istnieją też ludzie z 4 rodzajami czopków (tetrachromatyzm) oraz różnymi formami upośledzenia niektórych czopków:



Protanopia (1%)



Protanomalia (1%)



Deuteranopia (1%)



Deuteranomalia (5%)



Tritanopia ($\leq 1\%$)

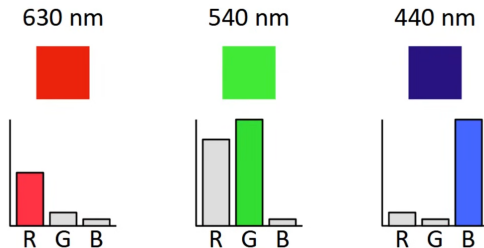


Tritanomalia ($\leq 1\%$)

Procenty dla mężczyzn. Dla kobiet są o 1–2 rzędy wielkości mniejsze. Istnieją też monochromatyczność oraz achromatopsja (każde $\leq 1\%$).

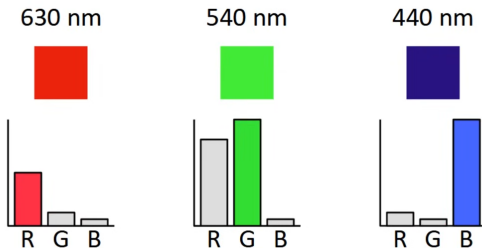
Trójbodźcowy system barw

(Tristimulus color system)



Trójbodźcowy system barw

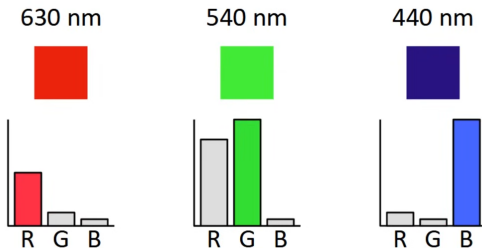
(Tristimulus color system)



Czerń to brak koloru, tj. brak aktywacji któregośkolwiek czopka. Falam elektromagnetycznym spoza widma widzialnego można przypisać kolor czarny ponieważ nie wywołują wrażenia żadnego koloru.

Trójbodźcowy system barw

(Tristimulus color system)

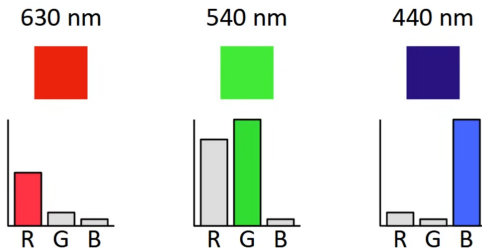


Czerń to brak koloru, tj. brak aktywacji któregokolwiek czopka. Falam elektromagnetycznym spoza widma widzialnego można przypisać kolor czarny ponieważ nie wywołują wrażenia żadnego koloru.

Biel to efekt maksymalnej aktywacji wszystkich czopków.

Trójbodźcowy system barw

(Tristimulus color system)

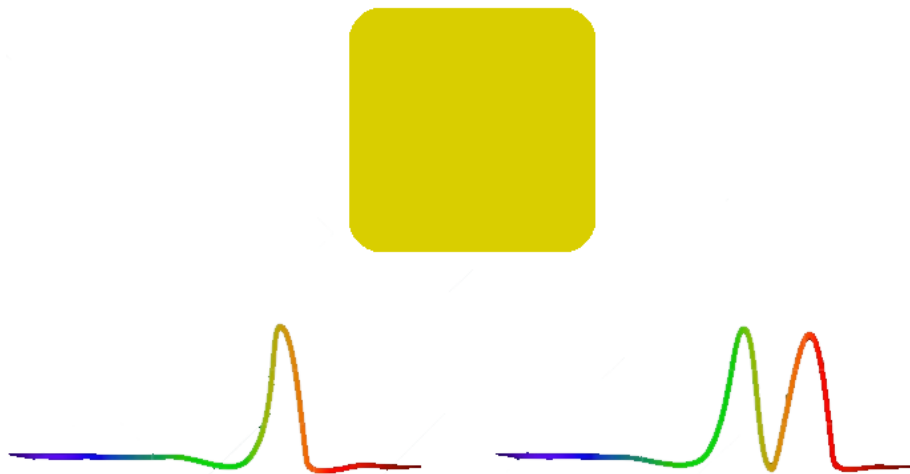


Czerń to brak koloru, tj. brak aktywacji któregośkolwiek czopka. Fala elektromagnetycznym spoza widma widzialnego można przypisać kolor czarny ponieważ nie wywołują wrażenia żadnego koloru.

Biel to efekt maksymalnej aktywacji wszystkich czopków.

Kolor nie jest zjawiskiem fizycznym tylko psychologicznym — interpretacją sygnału z czopków przez mózg.

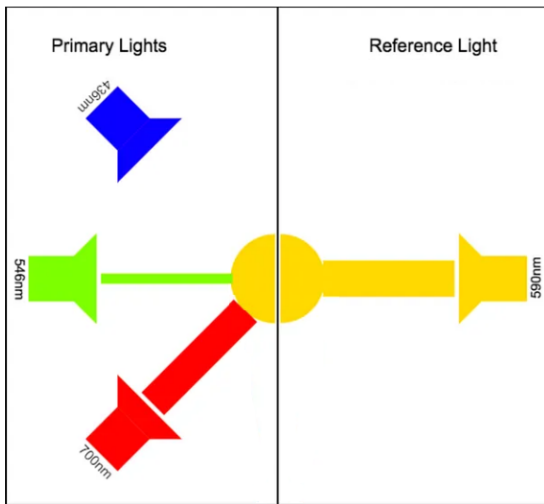
Metameryzm



CIE 1931

(Commission internationale de l'éclairage)

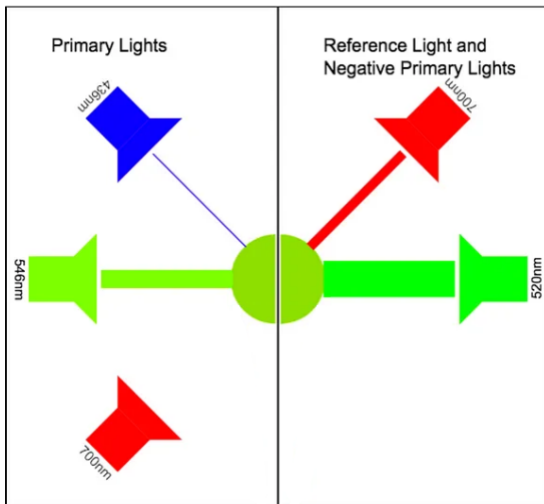
Eksperyment — zgodność barw:

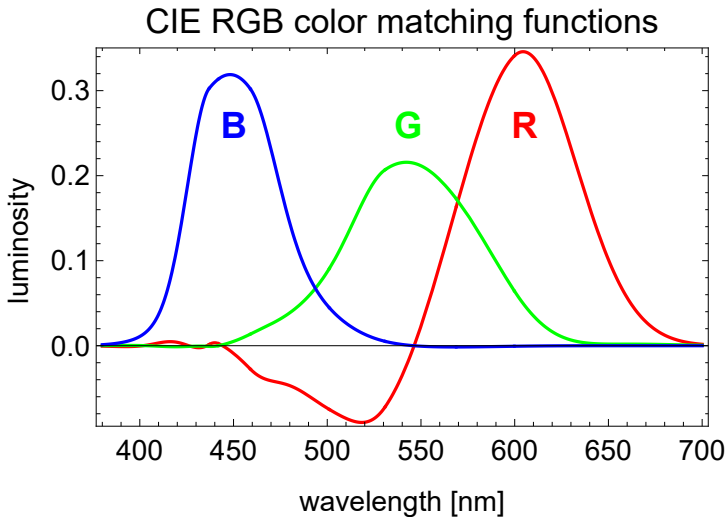


CIE 1931

(Commission internationale de l'éclairage)

Eksperyment — zgodność barw:





Po normalizacji

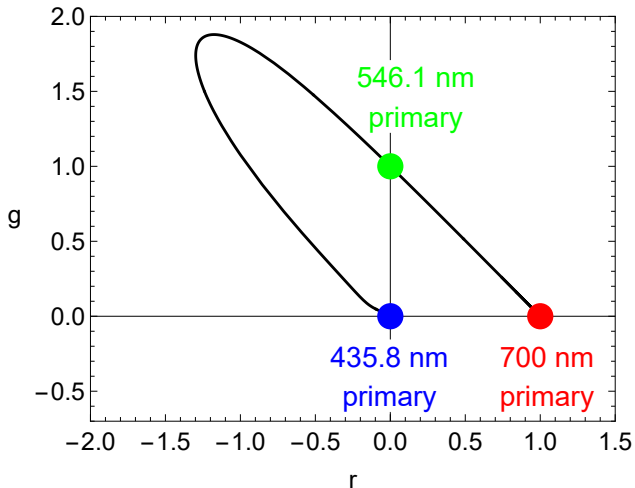
$$r = \frac{R}{R + G + B}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}$$

$$b = \frac{B}{R + G + B}$$

zachodzi

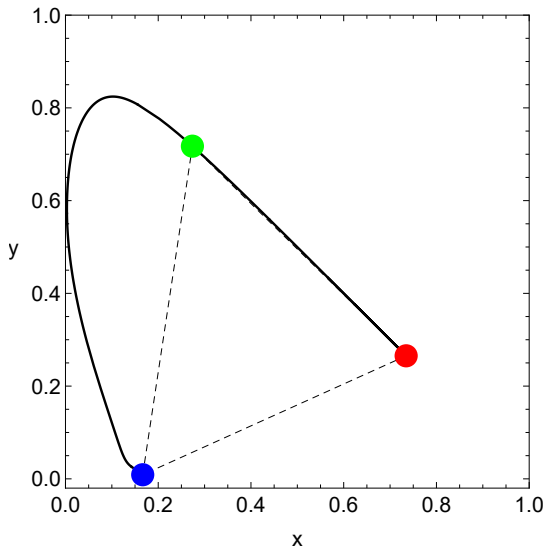
$$r + g + b = 1$$



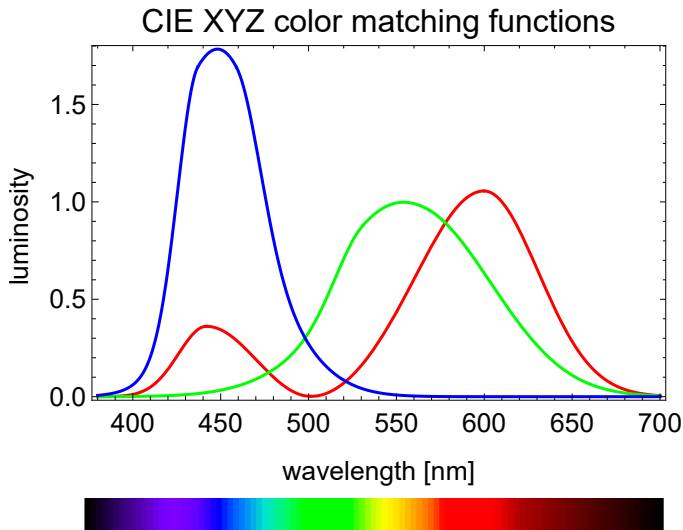
Transformacja liniowa z przestrzeni RGB do XYZ

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.7688 & 1.7517 & 1.1301 \\ 1 & 4.5906 & 0.0601 \\ 0 & 0.0565 & 5.5941 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

oraz po ponownej normalizacji [$x = X/(X + Y + Z)$ itd.; zachodzi $x + y + z = 1$, zatem z nie jest niezależną zmienną] daje

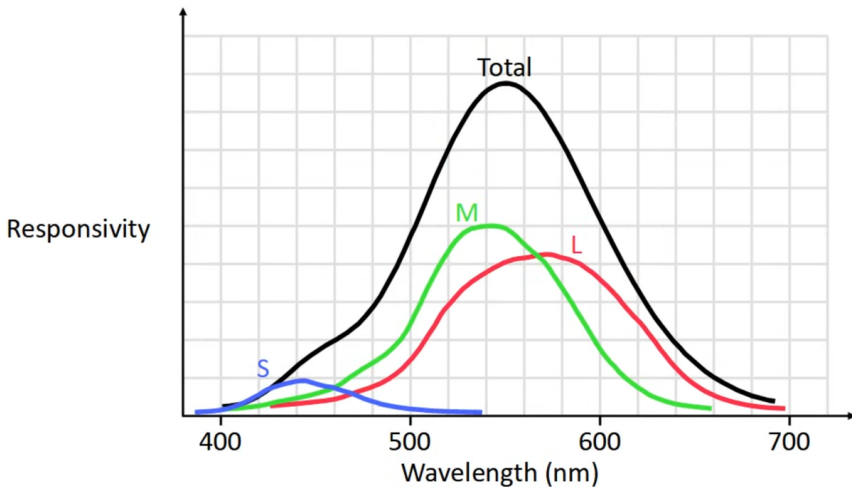


X, Y, Z jako funkcje λ :



W przestrzeni xyY (**nie** xyz):

Zmienna Y określa jasność.



Zmienna Y określa jasność. Zielony jest odbierany jako jaśniejszy niż czerwony czy niebieski:

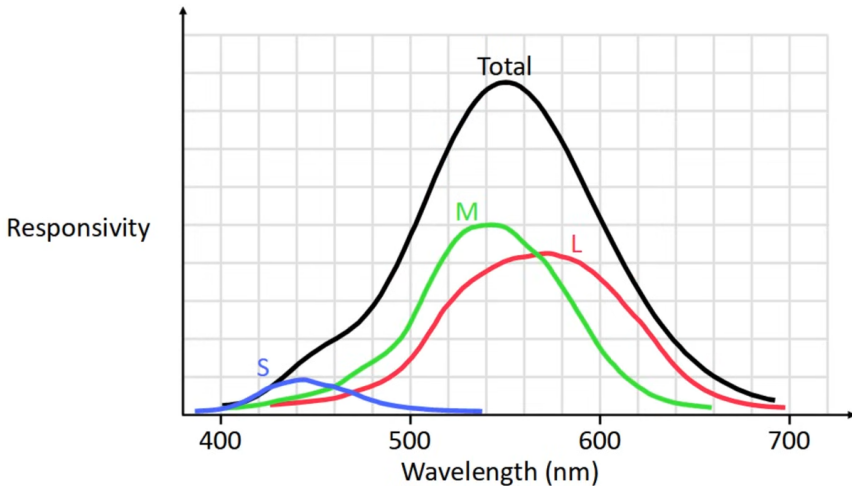
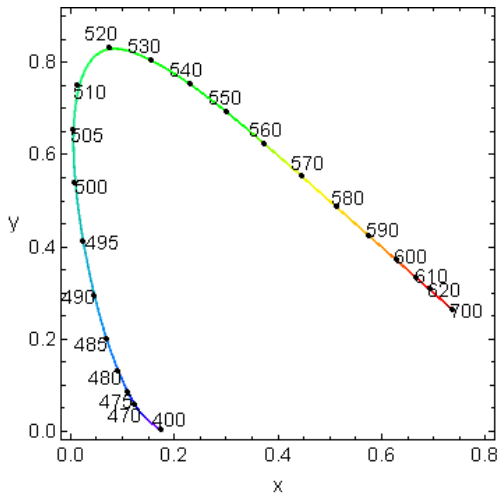
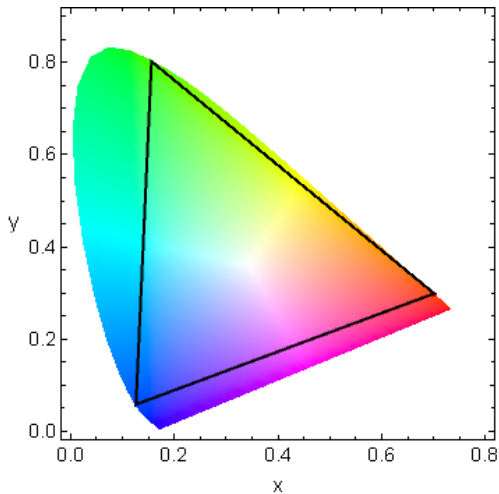


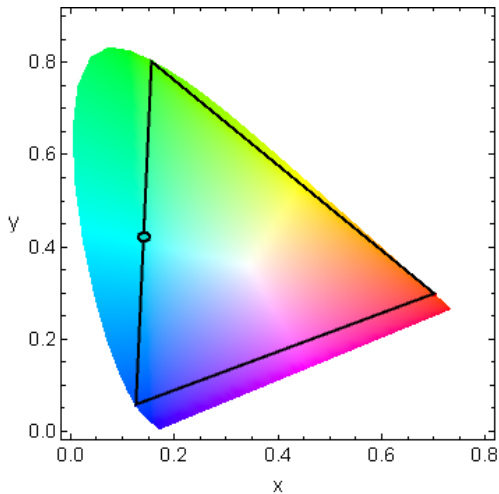
Diagram chromatyczny — rzut z przestrzeni xyY na płaszczyznę xy (por. slajd 15):



Widzialne kolory powstają jako kombinacja kolorów monochromatycznych:

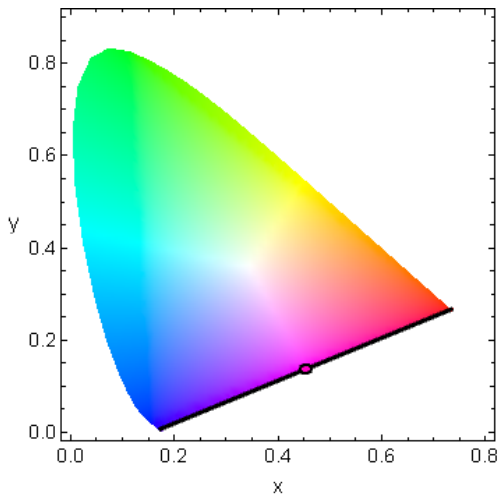


Widzialne kolory powstają jako kombinacja kolorów monochromatycznych:

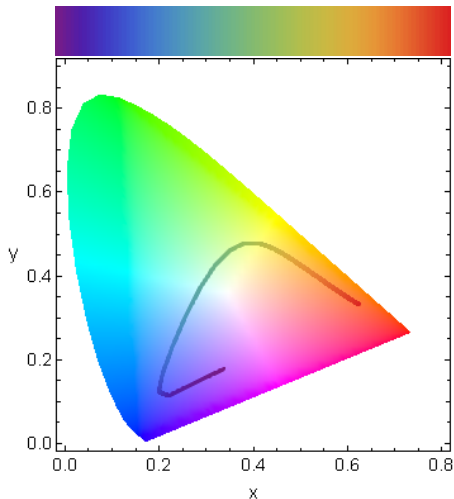


CIE 1931

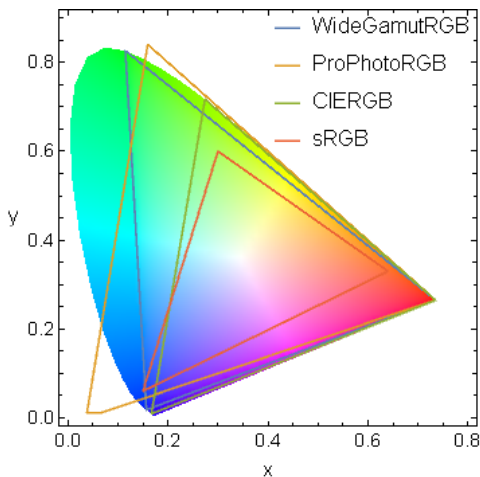
W szczególności, fioletowy nie jest kolorem spektralnym — istnieje tylko jako kombinacja niebieskiego i czerwonego:

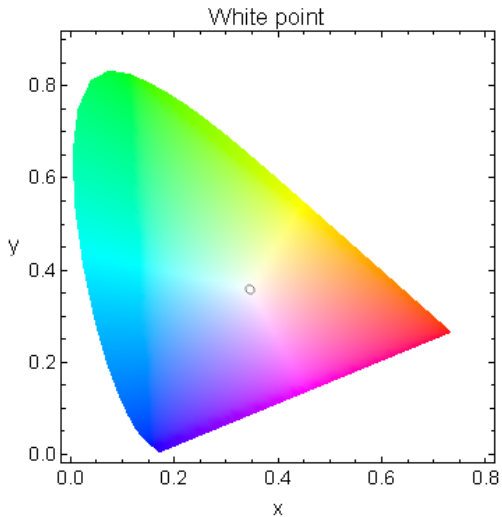


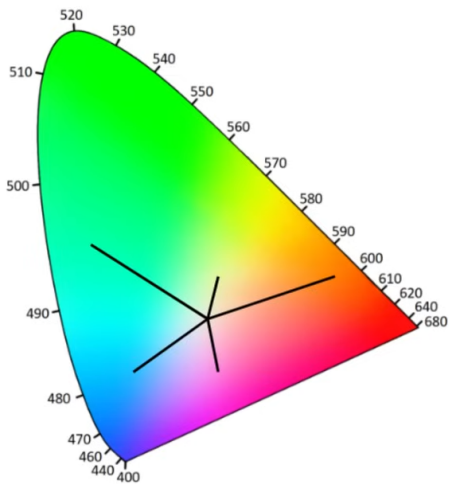
Skale kolorystyczne, np. rainbow:



Zakres możliwych kolorów w różnych gamach kolorystycznych:

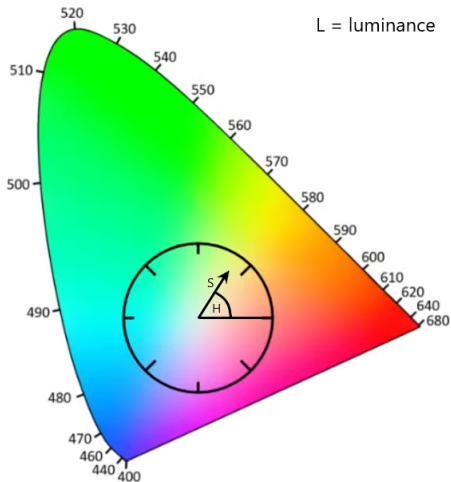






CIE $\rightarrow$ HSV

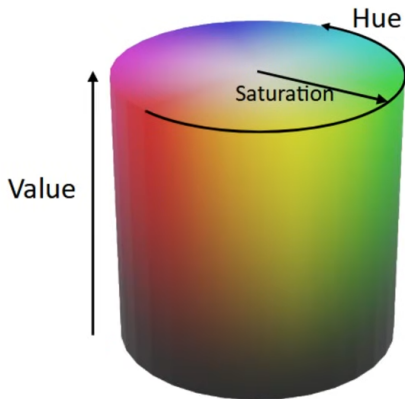
Przestrzeń barw Hue–Saturation–Value



HSV

We współrzędnych cylindrycznych:

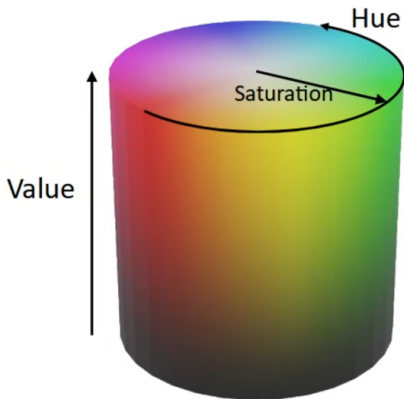
$$\theta = H, \quad r = S, \quad z = V$$



HSV

We współrzędnych cylindrycznych:

$$\theta = H, \quad r = S, \quad z = V$$

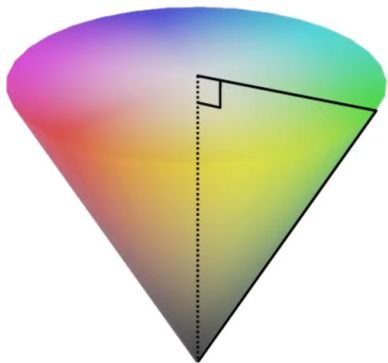


Spód cylindra jest cały czarny, więc uzasadnionym jest utożsamić go z pojedynczym punktem:

HSV

Stożek we współrzędnych cylindrycznych:

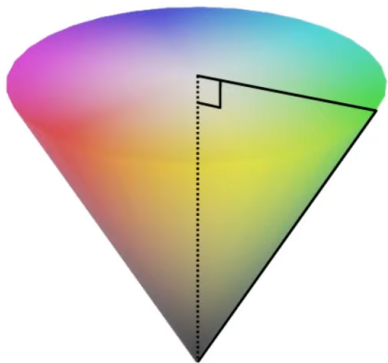
$$\theta = H, \quad r = S * V, \quad z = V$$



HSV

Stożek we współrzędnych cylindrycznych:

$$\theta = H, \quad r = S * V, \quad z = V$$

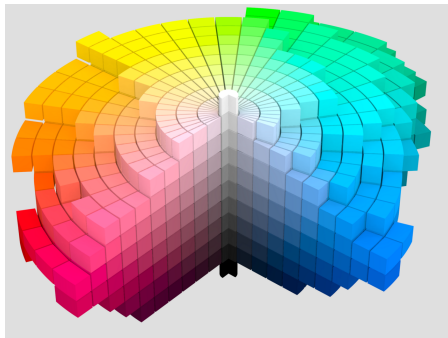


Istnieje wiele innych modeli barw, np. HSL, RGBA, CIE LUV (1976, percepcyjnie jednorodny ze względu na jasność), CIE Lab, LCH, CMYK, Munsell, PANTONE itd.

System barw Munsella

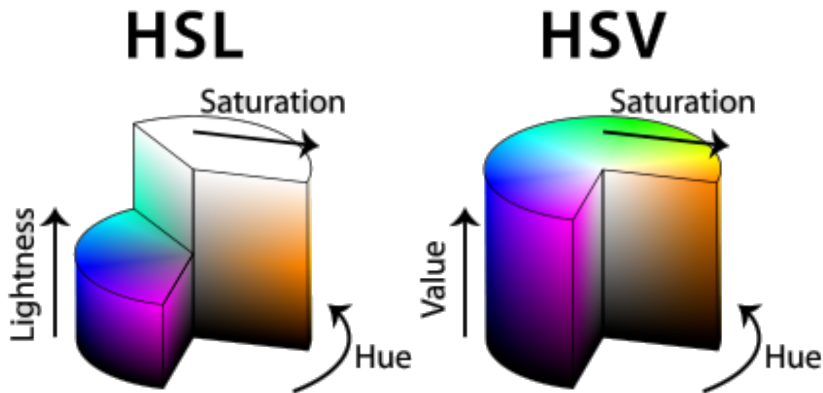
Używany powszechnie np. do oznaczania

- koloru skóry i włosów w patologii sądowej;
- koloru ziemi;
- koloru szkliwa w protetyce ortodontycznej;
- koloru piwa w browarnictwie (stopnie Lovibonda).



HSL

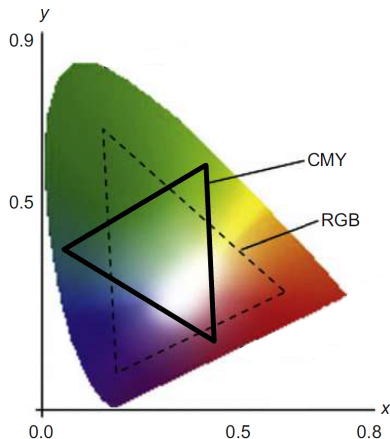
Hue–Saturation–Lightness



$L = 0\% = \text{czern\k{a}}, L = 100\% = \text{biel}$ — bez wzgl\k{e}du na H .

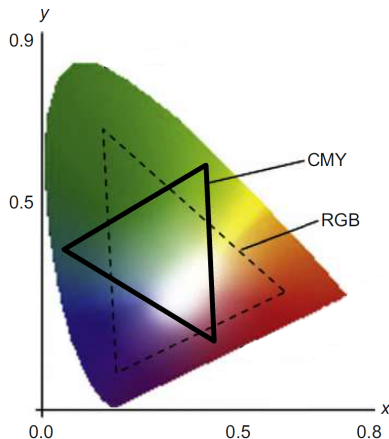
Addytywne i subtraktywne modele barw

- RGB — model addytywny: kolory uzyskuje się mieszając **emitowane** bazowe barwy monochromatyczne (skalując ich poszczególne intensywności), np. monitory CRT, LCD, LED itp.
- CMYK (cyan-magenta-yellow-black) — model subtraktywny: kolory uzyskuje się usuwając pewne barwy z **odbitego** światła białego; stosowany w drukarstwie. (W malarstwie — RYB.)



Addytywne i subtraktywne modele barw

- RGB — model addytywny: kolory uzyskuje się mieszając **emitowane** bazowe barwy monochromatyczne (skalując ich poszczególne intensywności), np. monitory CRT, LCD, LED itp.
- CMYK (cyan-magenta-yellow-black) — model subtraktywny: kolory uzyskuje się usuwając pewne barwy z **odbitego** światła białego; stosowany w drukarstwie. (W malarstwie — RYB.)



Praktyczne aspekty wiernego odwzorowania kolorów zawierają też np. korekcję gamma i wykraczają poza zakres oraz cele niniejszego kursu.



Normal



Protanope



Deuteranope



Tritanope



protanope



deuteranope



luminance

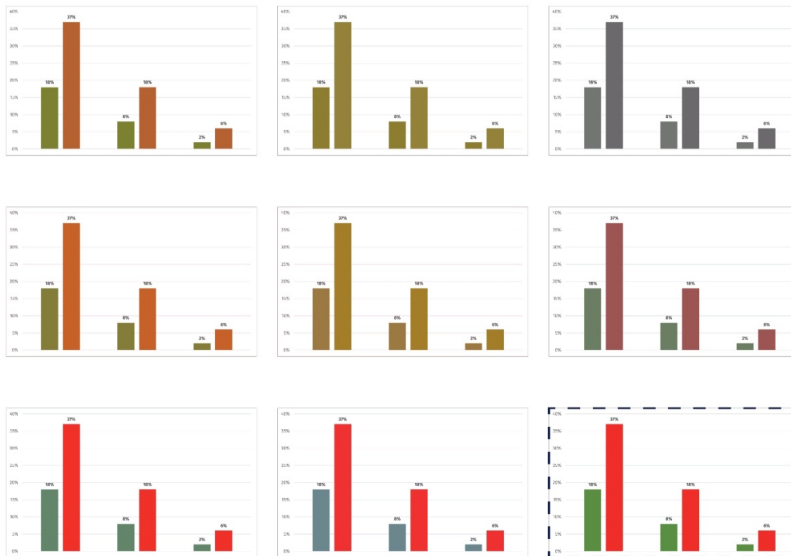
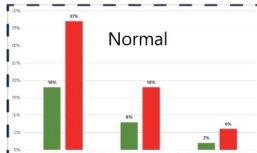
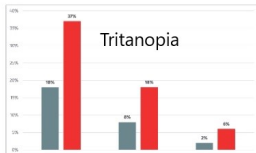
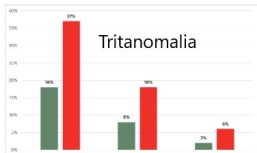
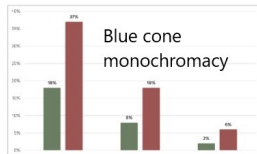
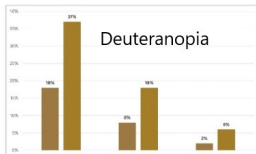
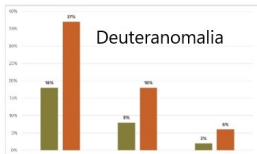
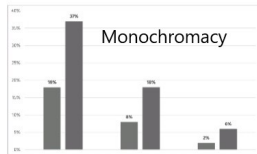
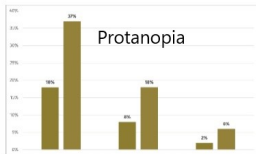
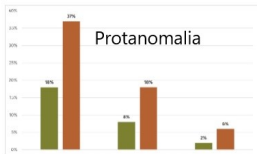
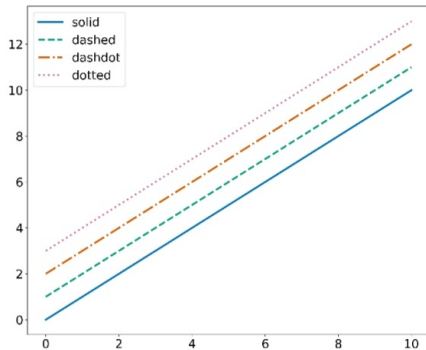
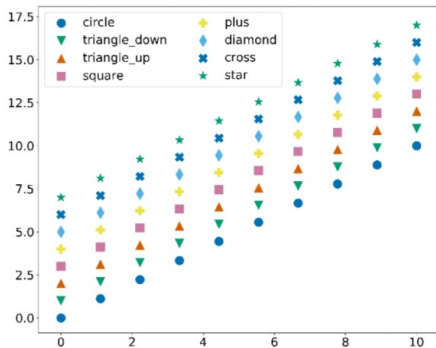


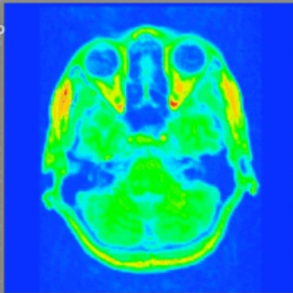
Figure 1. CVD simulation for different types of colour blindness. The original plot is highlighted at the bottom right with a dashed line. First column represents Anomalous Trichromacy (from top to bottom: red-weak, green-weak and blue-weak CVD), middle column represents Dichromatic View (from top to bottom: red-blind, green-blind and blue-blind CVD) and right column represents Monochromatic View (monochromacy and blue cone monochromacy). Simulations performed with [1].



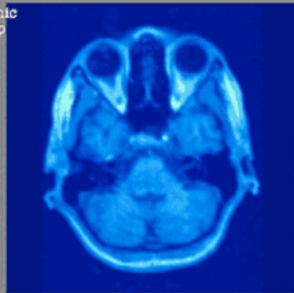
Przedstawienie tej samej informacji przy użyciu różnych sposobów zakodowania:



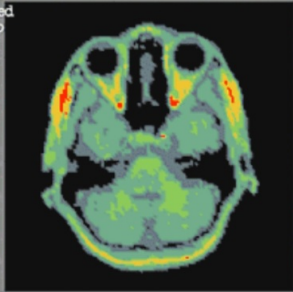
Default
Colormap



Isomorphic
Colormap

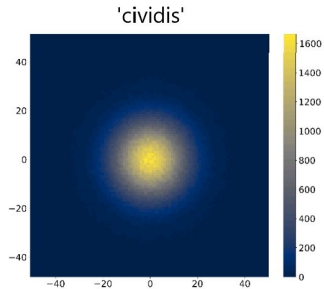
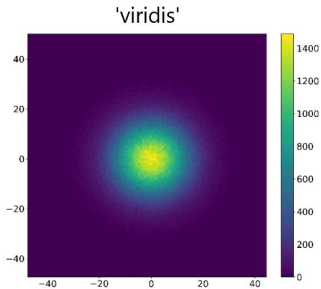


Segmented
Colormap



Highlighting
Colormap



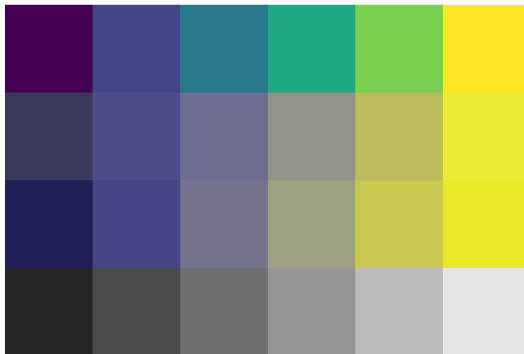


normal

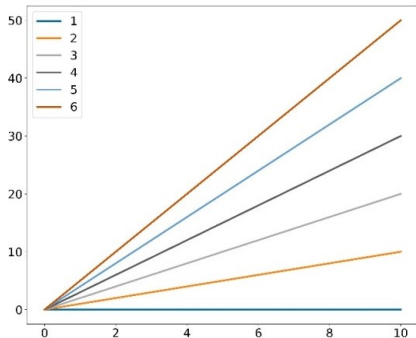
deuteranope

protanope

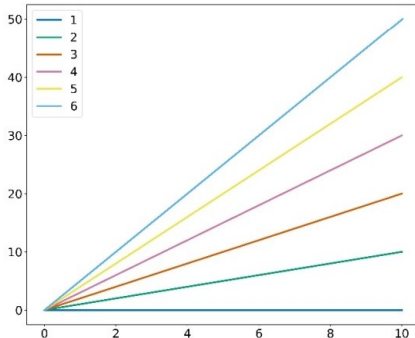
desaturated



'tableau-colorblind10'



'seaborn-colorblind'

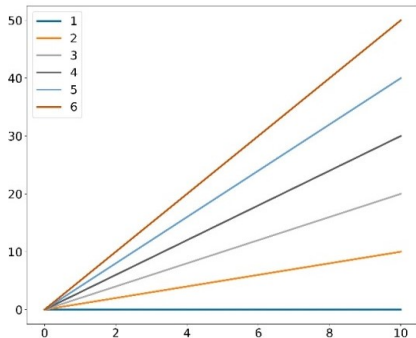


viridis jest domyślną skalą w matplotlib. Można też cmap='cividis'.

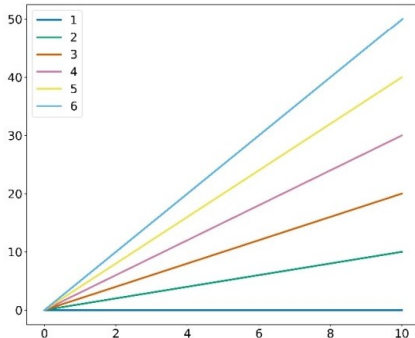
Globalnie:

```
import matplotlib.style as style
style.use('tableau-colorblind10')
albo
style.use('seaborn-colorblind')
```

'tableau-colorblind10'



'seaborn-colorblind'

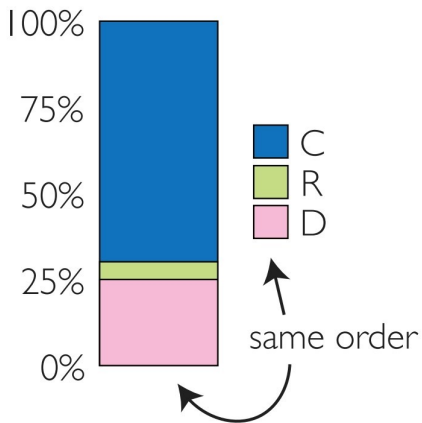


viridis jest domyślną skalą w matplotlib. Można też cmap='cividis'.

Globalnie:

```
import matplotlib.style as style
style.use('tableau-colorblind10')
albo
style.use('seaborn-colorblind')
```

Symbole w powyższych legendach powinny być w odwrotnej kolejności:



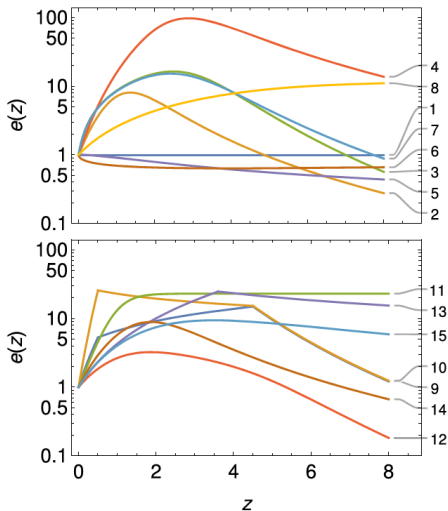
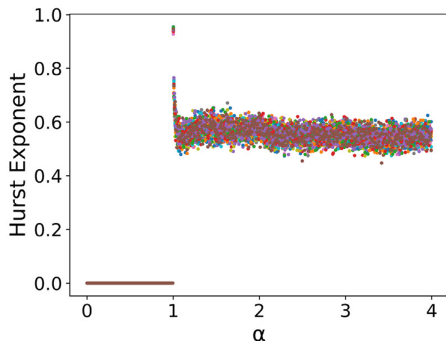
?



weird order

- Windows: Ustawienia > Ułatwienia dostępu > Filtry kolorów (deuteranopia, protanopia, trytanopia, skala odcieni szarości)
- <https://colororacle.org>
- <https://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator>
- <https://vischeck.com>
- <https://colorbrewer2.org>

Zazwyczaj nie więcej niż 5 linii/symboli/kolorów; ale są wyjątki od reguły:



<https://doi.org/10.1016/j.physa.2024.129725>;
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab8eb1>

Typy skal kolorystycznych

QUANTITATIVE COLOR SCALES

SEQUENTIAL & UNCLASSSED



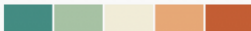
SEQUENTIAL & CLASSSED



DIVERGING & UNCLASSSED



DIVERGING & CLASSSED



QUALITATIVE COLOR SCALES

CATEGORICAL



Typy skal kolorystycznych

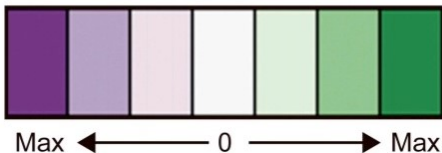
Qualitative Scale



Sequential Scale

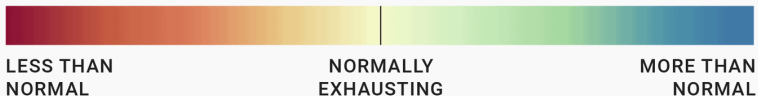


Diverging Scale



Typy skal kolorystycznych

Sprzeczne z powszechnymi skojarzeniami:



Skojarzenia kolorystyczne mogą być odmienne w różnych kulturach

Czerwień

- w krajach Zachodniej Europy oznacza niebezpieczeństwo, ostrożność, przyciąga uwagę, ale też symbolizuje miłość;
- w Indiach oznacza czystość;
- na Bliskim Wschodzie oznacza niebezpieczeństwo lub ostrożność;
- w Chinach symbolizuje szczęście;
- w krajach byłego bloku komunistycznego jest silnie kojarzona z komunizmem.

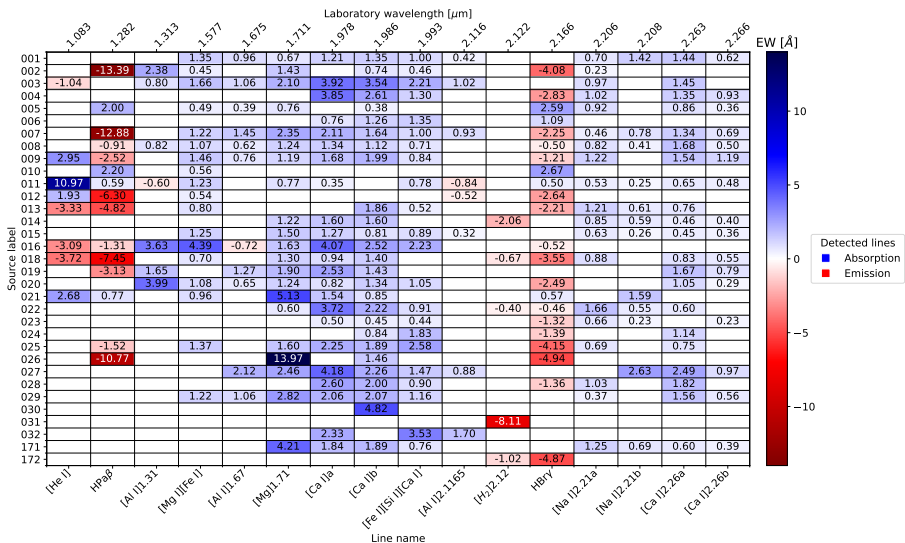
Skojarzenia kolorystyczne mogą być odmienne w różnych kulturach

Czerwień

- w krajach Zachodniej Europy oznacza niebezpieczeństwo, ostrożność, przyciąga uwagę, ale też symbolizuje miłość;
- w Indiach oznacza czystość;
- na Bliskim Wschodzie oznacza niebezpieczeństwo lub ostrożność;
- w Chinach symbolizuje szczęście;
- w krajach byłego bloku komunistycznego jest silnie kojarzona z komunizmem.

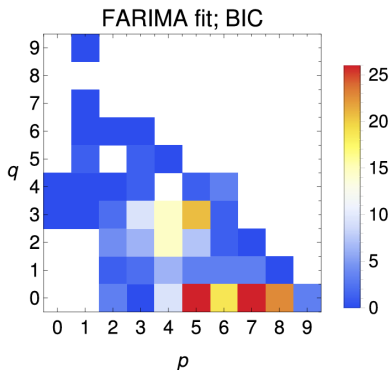
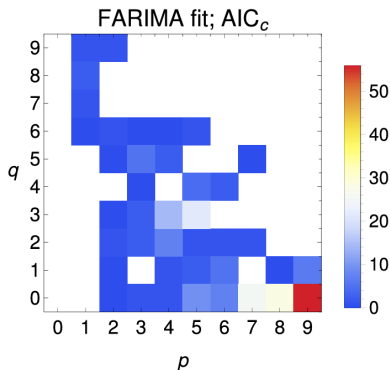
Biel

- jest kojarzona z czystością w krajach Europy Zachodniej, ale
- symbolizuje śmierć w wielu państwach azjatyckich, np. w Japonii.



Złe użycie

(skala rozbieżna zamiast sekwencyjnej)



<https://doi.org/10.3847/1538-4365/aba2c7>

Przykład dyskretnej, monochromatycznej (czarno-białej), sekwencyjnej skali kolorystycznej:

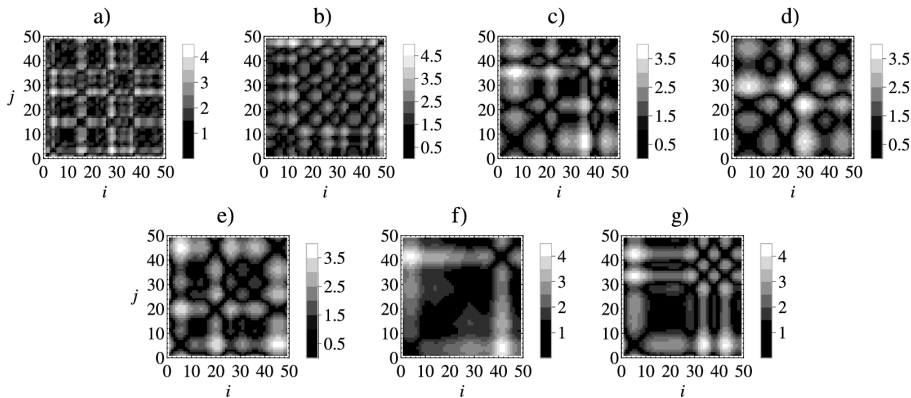


Fig. 7 Stationarity tests for (a) K89, (b) C1, (c) C2, (d) R1, (e) R2, (f) B2, (g) V2.

Prezentację tego wykresu można ulepszyć:

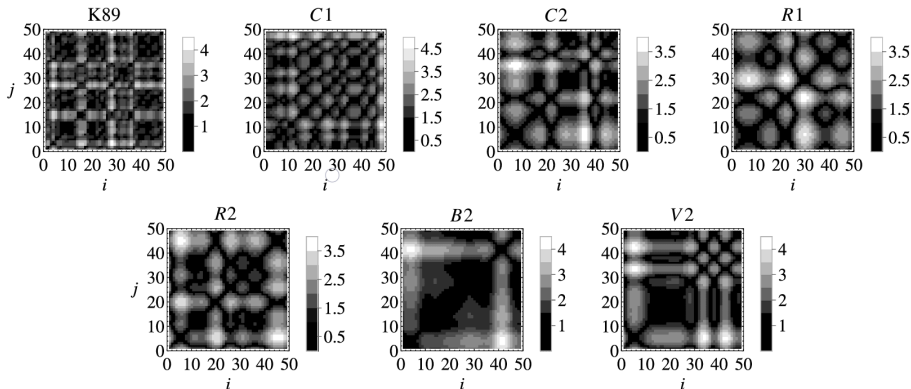


Fig. 7 Stationarity tests.

Kontrast

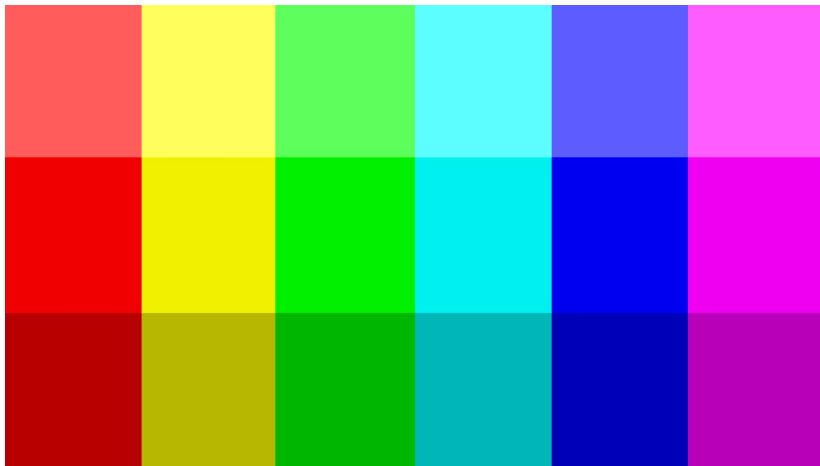
The five boxing wizards jump quickly	The five boxing wizards jump quickly	The five boxing wizards jump quickly	The five boxing wizards jump quickly
The five boxing wizards jump quickly	The five boxing wizards jump quickly	The five boxing wizards jump quickly	The five boxing wizards jump quickly
			
High Contrast Grayscale	Low Contrast Grayscale	High Contrast Color	Low Contrast Color

<https://www.chhs.colostate.edu/accessibility/best-practices-how-tos/color-contrast/>
<https://www.erikkroes.nl/blog/color-and-contrast/>
<https://accessibility.umich.edu/basics/concepts-principles/contrast>
<https://www.accessibility-developer-guide.com/knowledge/colours-and-contrast/how-to-calculate/>

Kontrast



Kontrast



Kontrast

to stosunek względnej luminancji koloru jaśniejszego L_1 do względnej luminancji koloru ciemniejszego $L_2 < L_1$:

$$\frac{L_1 + 0.05}{L_2 + 0.05}$$

* Względna luminancji to względna jasność znormalizowana od przedziału 0—czerni, 1—bieli.

Kontrast

to stosunek względnej luminancji koloru jaśniejszego L_1 do względnej luminancji koloru ciemniejszego $L_2 < L_1$:

$$\frac{L_1 + 0.05}{L_2 + 0.05}$$

Względna luminancja* $L \in [0, 1]$, zatem kontrast przyjmuje wartości od 1 (brak kontrastu) do 21 (maks. wartość: czerń na bieli i biel na czerni).

* Względna luminancji to względna jasność znormalizowana od przedziału 0—czern, 1—biel.

Kontrast

to stosunek względnej luminancji koloru jaśniejszego L_1 do względnej luminancji koloru ciemniejszego $L_2 < L_1$:

$$\frac{L_1 + 0.05}{L_2 + 0.05}$$

Względna luminancja* $L \in [0, 1]$, zatem kontrast przyjmuje wartości od 1 (brak kontrastu) do 21 (maks. wartość: czerń na bieli i biel na czerni).

- | | |
|--|--|
| 1.  9.04:1 | 6.  2.67:1 (fail) |
| 2.  18.06:1 | 7.  1.1:1 (fail) |
| 3.  14.04:1 | 8.  2.09:1 (fail) |
| 4.  6.03:1 | 9.  21:1 |
| 5. Sample 21:1 | 10.  1.14:1 (fail) |

* Względna luminancji to względna jasność znormalizowana od przedziału 0—czern, 1—biel.

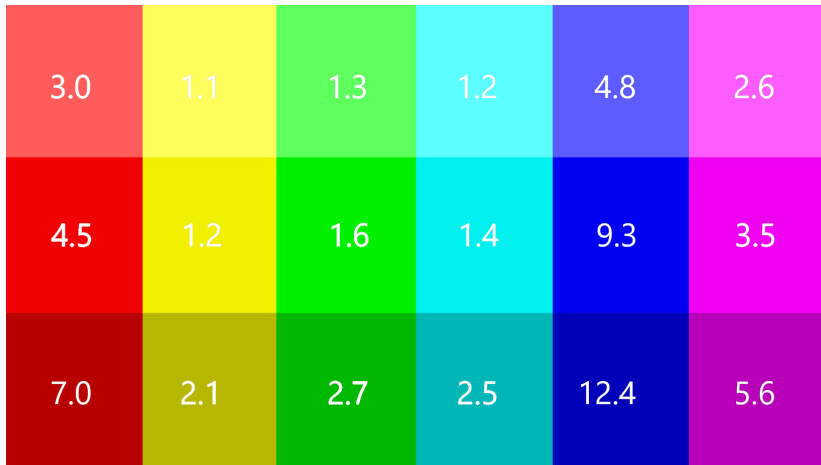
$H_{HSV} \in [0^\circ, 360^\circ)$, $S_{HSV} \in [0, 1]$, $V \in [0, 1]$:

$$H_{HSL} = H_{HSV}$$

$$S_{HSL} = \begin{cases} 0 & \text{gdy } L = 0 \vee L = 1 \\ \frac{V-L}{\min(L, 1-L)} & \text{gdy } L \in (0, 1) \end{cases}$$

$$L = V \left(1 - \frac{S_{HSV}}{2} \right)$$

Kontrast



Kryteria

- AA (WCAG 1.4.3) — kontrast ≥ 4.5
- AA18pt — kontrast ≥ 3.0
- AAA (WCAG 1.4.6) — kontrast ≥ 7.0
- AAA18pt — kontrast ≥ 4.5

Kontrast

Użyteczne linki

- Colour Contrast Analyser (Windows, Mac) — <https://developer.paciellogroup.com/color-contrast-checker>
- <https://webaim.org/resources/contrastchecker>
- <https://contrastchecker.com>
- Chrome extension — <https://chromewebstore.google.com/detail/wave-evaluation-tool/jbbplnpkjmmebjpijfedlgcdilcofh?pli=1>

Kontrast

Użyteczne linki

- Colour Contrast Analyser (Windows, Mac) — <https://developer.paciellogroup.com/color-contrast-checker>
- <https://webaim.org/resources/contrastchecker>
- <https://contrastchecker.com>
- Chrome extension — <https://chromewebstore.google.com/detail/wave-evaluation-tool/jbbplnpkjmmeebjpijfedlghcdiloco/h?pli=1>

Zadanie

Sprawdzić, czy liczby w kolorowych komórkach ze slajdu 48 spełniają kryteria WCAG.

