

Komunikacja Człowiek-Komputer

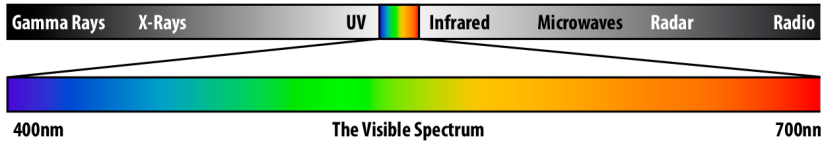
Kolory

Wojciech Jaśkowski

Instytut Informatyki
Politechnika Poznańska

Wersja: 4 listopada 2013

Światło



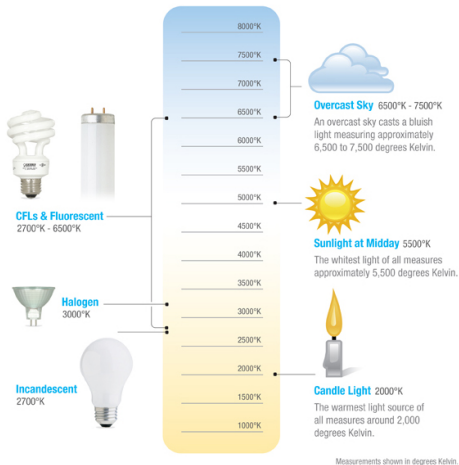
Źródło: Practical Colour management—R. Griffith

- Postrzegany kolor zależy od tego jakie fale dotrą do oka.
- Światło białe
- Światło monochromatyczne (barwa prosta) — otrzymane przez rozszczepienie światła białego

Charakterystryka źródła światła:

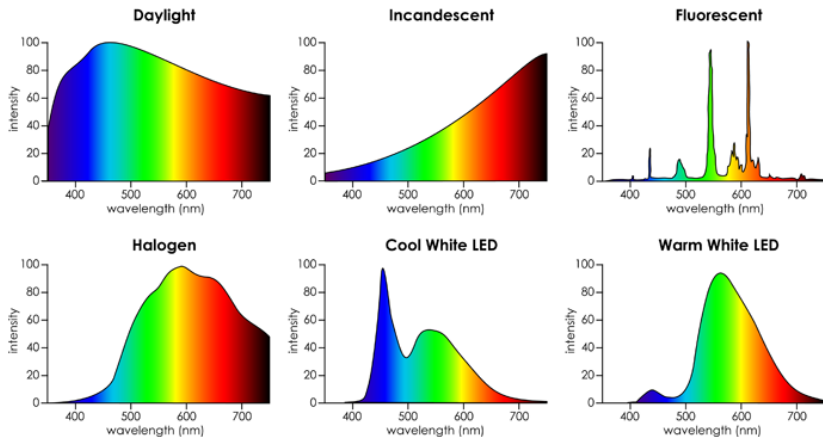
- 1 temperatura
- 2 rozkład widmowy

Temperatura światła (stopnie Kelvina)



- Temperatura = podobieństwo do koloru rozgrzanego ciała doskonale czarnego (Lord Kelvin)
- Sens tylko dla światła pomarańczowego-żółtego-białego-niebieskiego (nie np. dla zielonego)

Rozkład widmowy

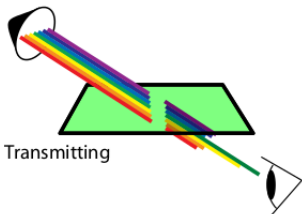
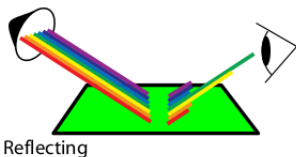


Źródło: <http://housecraft.ca/author/jpriet/page/2/>

- To możliwe: różne rozkłady widmowe, ale ta sama temperatura

Światło

Większość docierającego do oka światła to światło odbite.

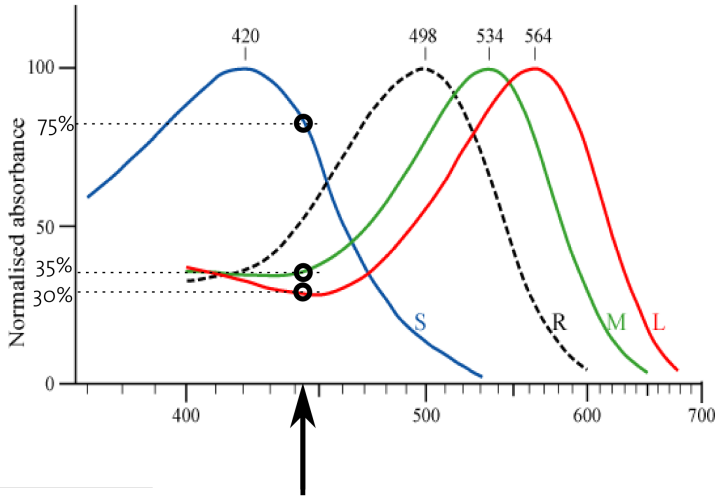


Obiekty:

- emitujące światło
- odbijające światło
- przepuszczające (filtrujące) światło

Metameryzm: dwa obiekty wyglądają identycznie w danym świetle (np. jarzeniowym), ale różnią się w innym świetle (np. żarowym).

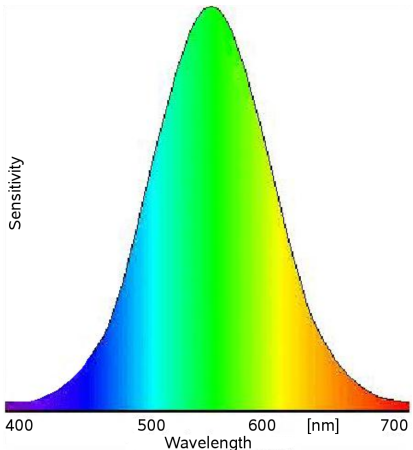
Oko i widzenie kolorów



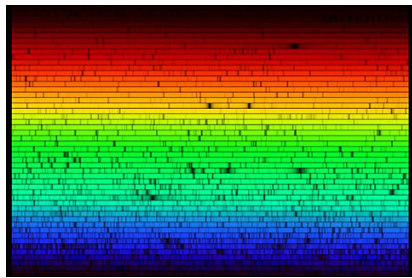
Źródło: [http://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals.html#\(20\)](http://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals.html#(20))

- Światłoczułe pręciki (S, M i L)

Czułość oka ludzkiego



Źródło: [http://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals.html#\(21\)](http://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals.html#(21))



Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/032.php>

Pomiar koloru

Kolor — wrażenie psychiczne powstające w mózgu



Źródło: Practical Colour management—R. Griffith

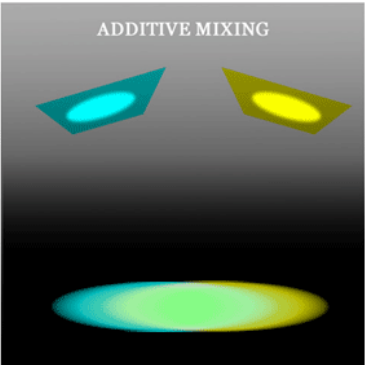
- Densitometr — emituje światło i mierzy ile wróciło (np. zużycie tuszu w druku na kartkę)
- Kolorymetr — sensory niebieskiego, zielonego i czerwonego (np. kalibracja monitorów)
- Spektrometr — emituje światło, mierzy całe spektrum z pewną rozdzielczością (np. 10nm) (pomiar koloru z wydruku)

Prawa Grassman'a


- 1 **trójwymiarowości** — każdą barwę da się przedstawić jako sumę trzech niezależnych barw. **Ale nie odwrotnie!**
- 2 **ciągłości** — barwa jest ciągłą funkcją widma fal świetlnych
- 3 **addytywności** — jeśli mamy dwa bodźce świetlne o tej samej barwie, to po zmieszaniu każdego z nich z dowolnym trzecim otrzymamy tę samą barwę.

Mieszanie barw: addytywne i subtraktywne

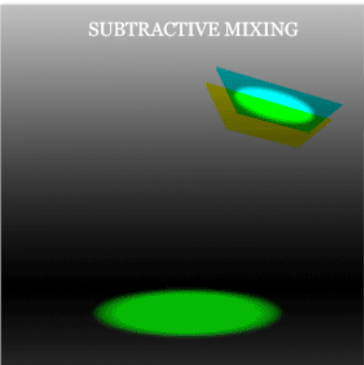
ADDITIVE MIXING




Adding cyan and yellow light gives whitish green



SUBTRACTIVE MIXING



Removing light with cyan and yellow filters gives pure green

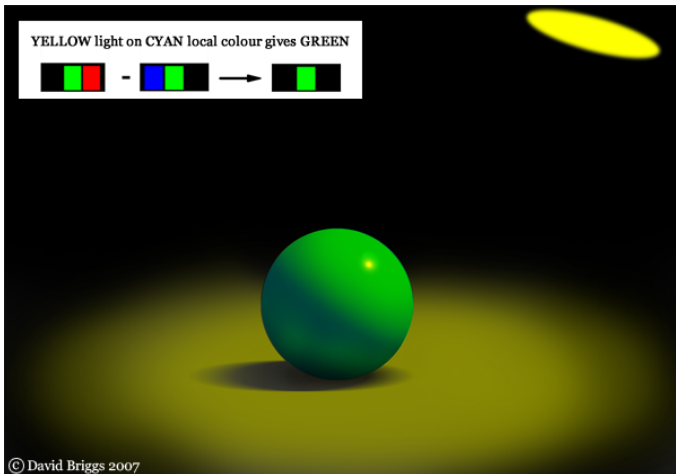


© David Briggs, 2012

Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/051.php>

Subtraktywne = multiplikatywne. $20\% \times 50\% = 10\%$

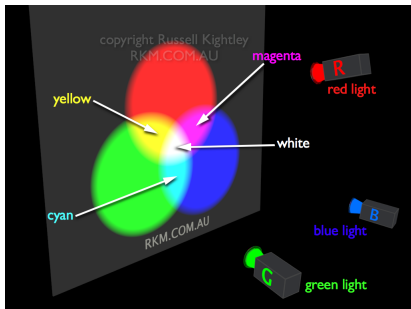
Substraktywne mieszanie i oświetlanie



Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/051.php>

Postrzeganie tego koloru zależy jednak od tego jak obserwator zaadaptuje się do źródła światła.

Model kolorów RGB

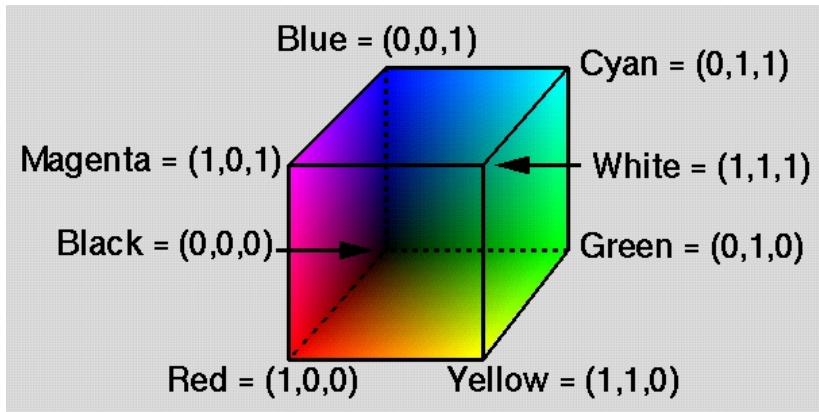


Źródło:

<http://www.rkm.com.au/animations/Animation-RGB-additive-colour-mixing.html>

- addytywny
- barwa = trójka (r, g, b)
- intensywność barwy **czerwonej**, **zielonej** i **niebieskiej**.
- czarny = $RGB(0, 0, 0)$
- biały = $RGB(1, 1, 1)$
(czasem $(255, 255, 255)$)
- nie definiuje (r, g, b)

Model kolorów RGB



Źródło: <http://projekt.ffi.no/unik-4660/lectures04/chapters/Introduction.html>

Konwersje

Konwersja RGB \implies CMY

$$\text{RGB}(r, g, b) = \text{CMY}(1 - r, 1 - g, 1 - b)$$

Konwersja CMY \implies RGB

$$\text{CMY}(c, m, y) = \text{RGB}(1 - c, 1 - m, 1 - y)$$

Konwersja CMY \implies CMYK:

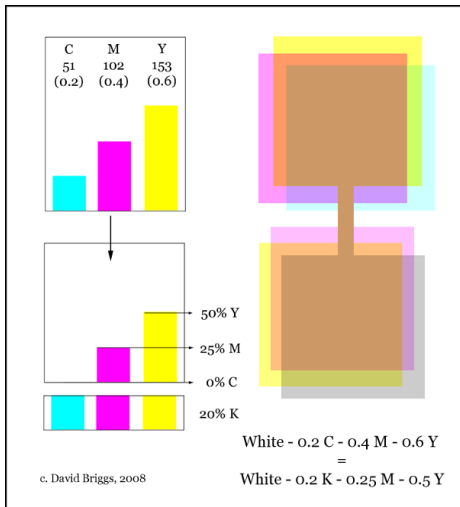
$$k = \min(c, m, y)$$

$$c = (c - k)/(1 - k)$$

$$m = (m - k)/(1 - k)$$

$$y = (y - k)/(1 - k)$$

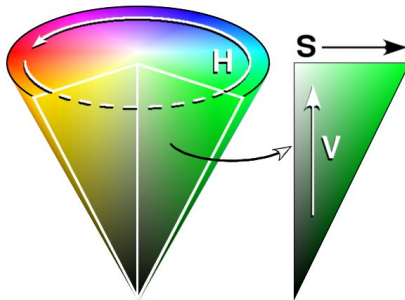
Konwersja CMY \implies CMYK



Przypadek wyidealizowany — w praktyce bardziej skomplikowane.

Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/092.php>

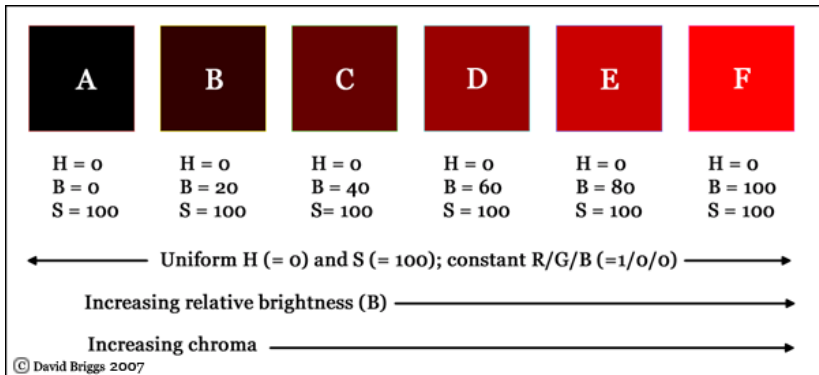
Model opisu przestrzeni barw HSB = HSV



Źródło: [http://pl.wikipedia.org/wiki/HSV_\(grafika\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/HSV_(grafika))

- RGB i CMYK wygodne dla maszyn, nie dla człowieka
- HSV/B = odcień (H), nasycenie (S), jasność/wartość (B/V)
- Typowo w skali 0-100 (H czasami w skali 0-359)

HSB - jaskrawość (względna!)



Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/093.php>

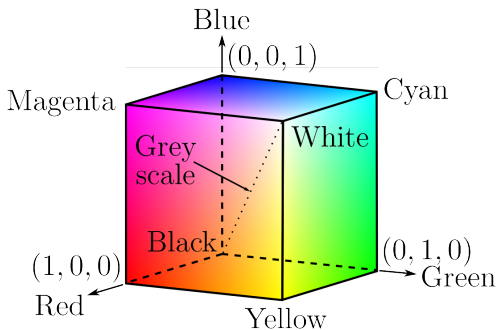
- B mierzy jaskrawość w porównaniu do maksymalnej możliwej jaskrawości koloru o tej samej H i S
- Czyli $B = \max(R, G, B) * 100$

HSB - jaskrawość



Źródło:

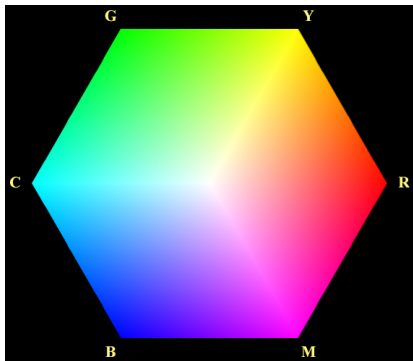
[http://pl.wikipedia.org/wiki/HSV_\(grafika\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/HSV_(grafika))



Źródło: <http://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals.html>

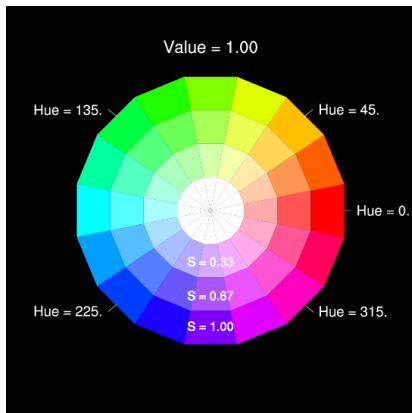
- Czy da się zwiększyć jaskrawość koloru $RGB(1, 0, 0.6)$?
- $B = 0$, tylko gdy $RGB(0, 0, 0)$
- $HSB(*, *, 100)$ reprezentuje wszystkie **kolory czyste** oraz **tinty** (przejścia kolor czysty-biały)

HSB - kolory czyste i tinty



Źródło:

<http://www.blancmange.info/notes/oddbits/testpat/>

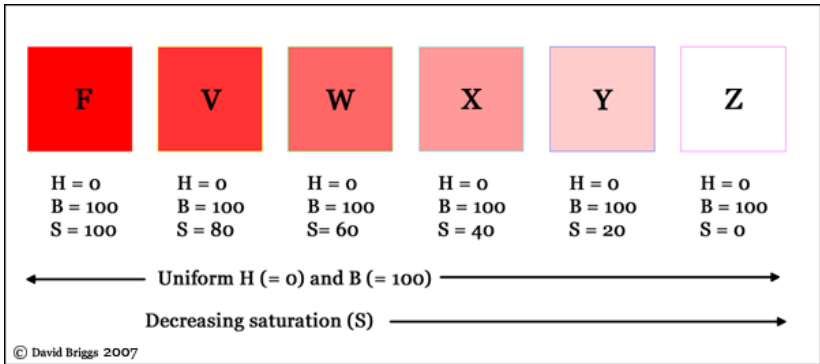


Źródło:

<http://www.ncl.ucar.edu/Applications/color.shtml>

Różne sposoby przedstawienia: hex, koło barwne

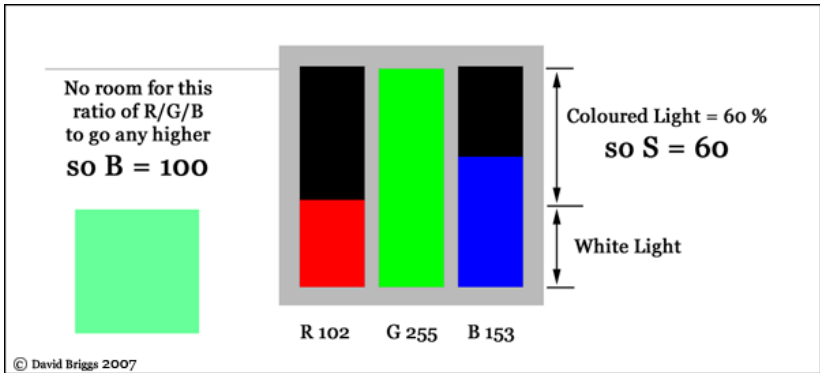
HSB - nasycenie (względne!)



Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/093.php>

Różne nasycenia, ta sama jaskrawość.

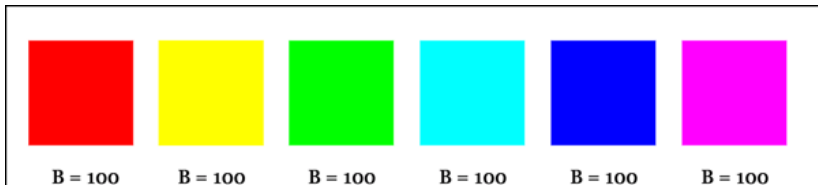
Nasycenie (względne!)



Źródło: <http://http://www.huevaluechroma.com/093.php>

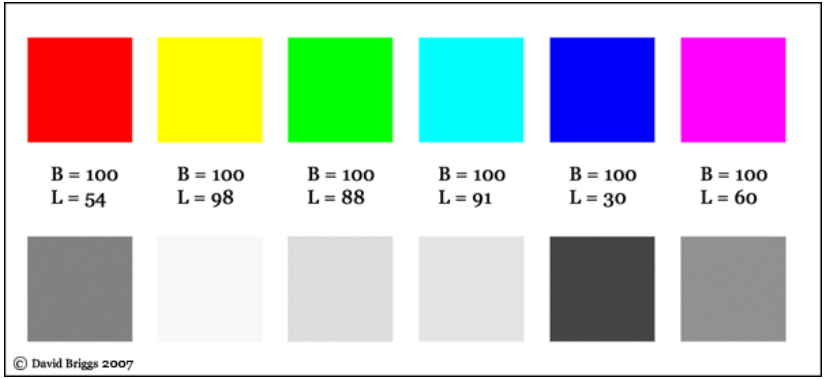
Kiedy kolor ma maksymalne nasycenie w RGB?

Jaskrawość = jasność?



Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/093.php>

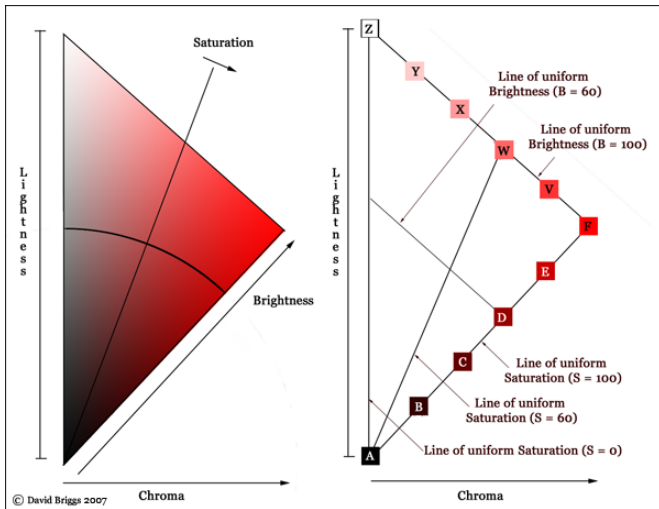
Jaskrawość = jasność?



Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/093.php>

Powyższe mają maksymalną jaskrawość (B=100), ale różnią się jasnością (L).

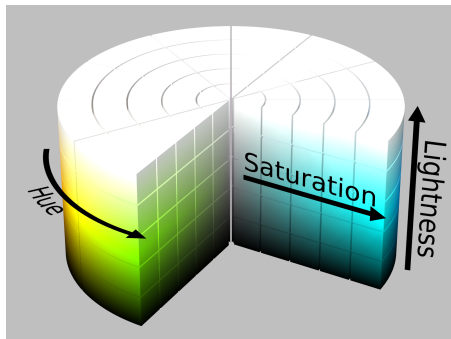
jaskrawość \neq jasność



Źródło: <http://www.huevaluechroma.com/093.php>

jasność (L), jaskrawość (B) i nasycenie (S).

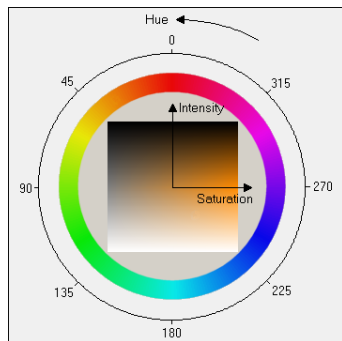
HSL



Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV

- HSL = Hue, Saturation, Lightness
- Definicja “jasności”: $L = (\max(R, G, B) - \min(R, G, B))/2$
 - Jaką “jasność” (L) mają maksymalnie nasycone kolory?
- S = ilość nasycenia w porównaniu do maksymalnej wartości przy stałym L.

HSI



Źródło: http://www.lohninger.com/helpcsuite/rgbtoshi_sdlcolors.htm

- I = Intensywność
- Czasem używany w computer vision, bo $I = (R+G+B)/3$

Odpowiedni model koloru ułatwia przetwarzanie

Obraz oryginalny



Źródło: ff12

Odpowiedni model koloru ułatwia przetwarzanie

Obraz oryginalny



Źródło: ff12

Odpowiedni model koloru ułatwia przetwarzanie

Obraz oryginalny



Źródło: ff12

Odpowiedni model koloru ułatwia przetwarzanie

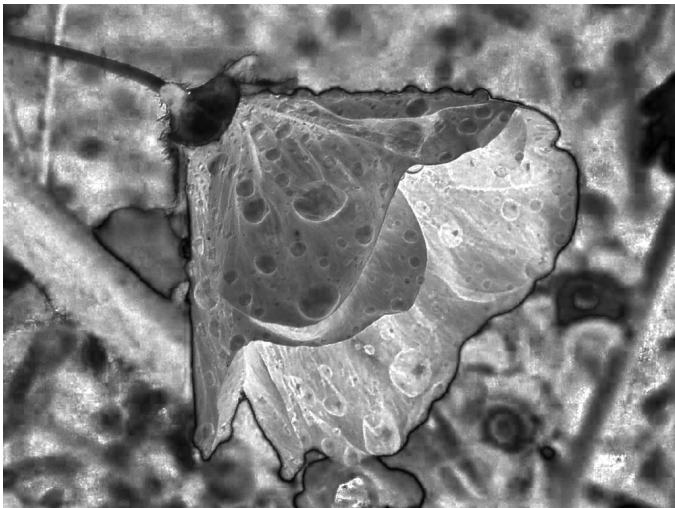
Obraz oryginalny



Źródło: ff12

Odpowiedni model koloru ułatwia przetwarzanie

Obraz oryginalny



Źródło: ff12

Odpowiedni model koloru ułatwia przetwarzanie

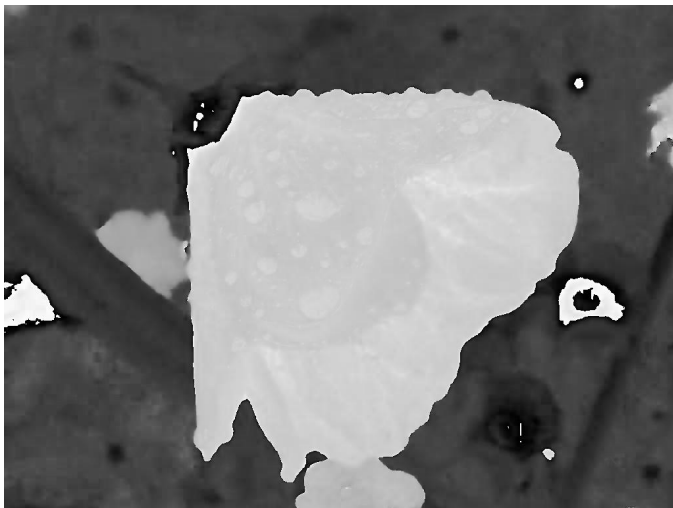
Obraz oryginalny



Źródło: ff12

Odpowiedni model koloru ułatwia przetwarzanie

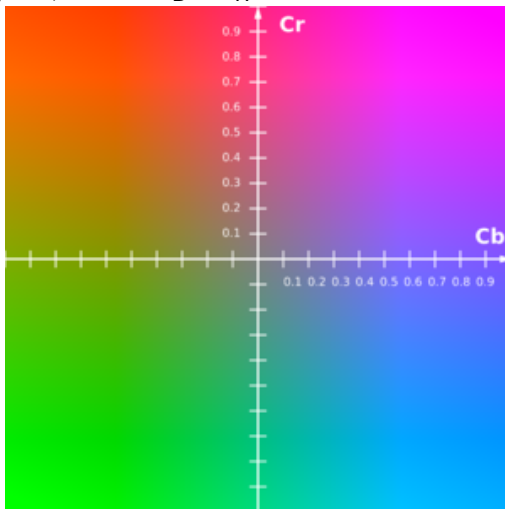
Obraz oryginalny



Źródło: ff12

YCbCr

- Używany w JPEG, MPEG
- Luminancja Y , Kolor: C_B i C_R



Źródło: <http://en.wikipedia.org/wiki/YCbCr>

$YCbCr$ 

Źródło: <http://en.wikipedia.org/wiki/YCbCr>

Luminancja niesie dla człowieka więcej informacji niż kolor → możliwa decymacja (eng. downsampling).

Konwersja $YC_B C_R$ z RGB

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112.000 \\ 112.000 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

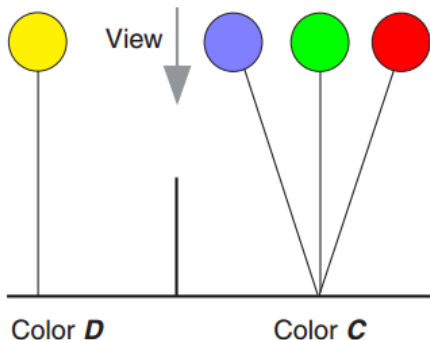
Źródło: [http://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals.html#\(41\)](http://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals.html#(41))

Bezwzględny model kolorów / przestrzeń kolorów

- RGB jest “receptą” — kolor zależy od (definicji) składników
- Aby z RGB zrobić bezwzględny model kolorów trzeba zdefiniować profil ICC. Wtedy mamy np. sRGB, Adobe RGB.

CIEXYZ

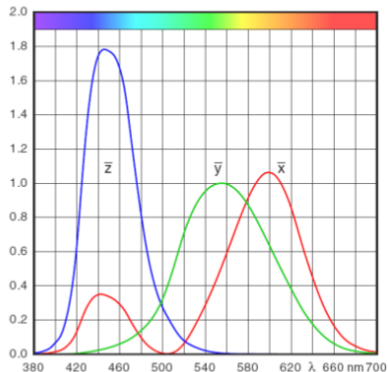
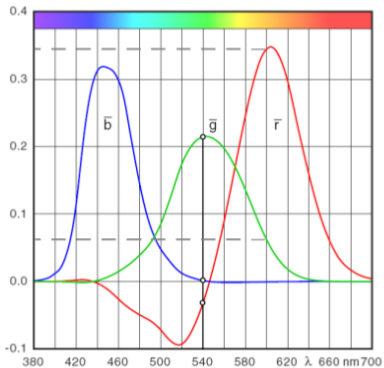
- Zdefiniowane przez International Commission on Illumination (CIE) w 1931
- Na podstawie eksperymentów psychologicznych
- Wszystkie kolory, których typowo człowiek może doświadczyć.



Color matching experiment

CIEXYZ

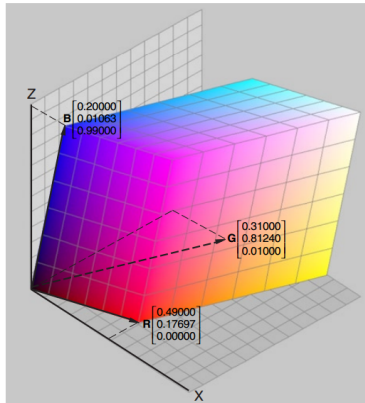
Funkcje dopasowujące:



Źródło: <http://www.fho-emen.de/hoffmann/ciexyz29082000.pdf>

CIEXYZ

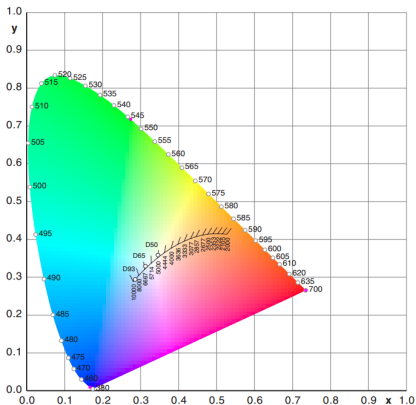
Przejście z RGB do XYZ, żeby pozbyć się wartości ujemnych.



Źródło: <http://www.fho-emen.de/~hoffmann/ciexyz29082000.pdf>

CIE_{xyY}

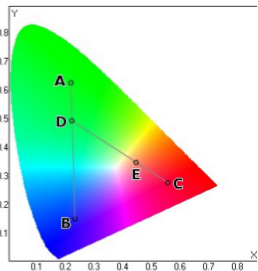
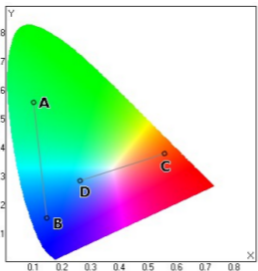
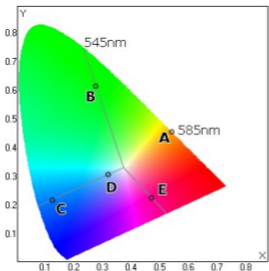
Najczęściej przedstawia się go w postaci diagramu chromatyczności używając współrzędnych x i y (bez luminancji Y):



- Barwy proste
- Linia purpury
- Temperatura barwna
- Punkt bieli (np. D65):
równomiernie zmieszane fale

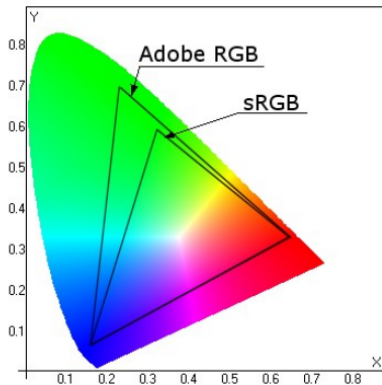
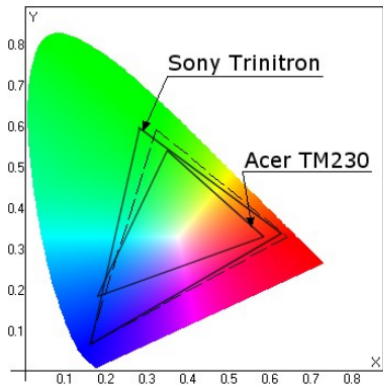
Źródło: <http://www.fh-empden.de/~hoffmann/ciexyz29082000.pdf>

Właściwości CIExyZ



Źródło: Tarasiuk (TODO)

Gamut — przestrzeń barw możliwa do wyświetlenia



Źródło: Tarasiuk (TODO)

Aby uzyskać wystarczy zmierzyć barwy podstawowe RGB.

Przestrzenie barw

Przestrzeń sRGB.

Jest to najpopularniejsza przestrzeń barw. Opracowano ją w celu ujednolicenia wyświetlania kolorów na wszystkich możliwych monitorach komputerowych, dlatego zakres dostępnych w niej barw nie przekracza możliwości najsłabszego monitora. Jest to najmniejsza z omawianych przestrzeni. Przestrzeń sRGB jest z założenia podstawową przestrzenią obrazów prezentowanych w Internecie.

	x	y	z
czerwony	0,6400	0,3300	0,0300
zielony	0,3000	0,6000	0,1000
niebieski	0,1500	0,0600	0,7900
punkt bieli	0,3127	0,3290	0,3583

gamma=2.20

Przestrzeń Adobe RGB.

Znana również pod nazwą SMPTE-240M. Przestrzeń obejmuje nieco więcej kolorów niż sRGB. Niektóre współczesne monitory potrafią już wyświetlać całą przestrzeń AdobeRGB.

	x	y	z
czerwony	0,6400	0,3300	0,0300
zielony	0,2100	0,7100	0,0800
niebieski	0,1500	0,0600	0,7900
punkt bieli	0,3127	0,3290	0,3583

gamma=2.20

Źródło: Tarasiuk (TODO)

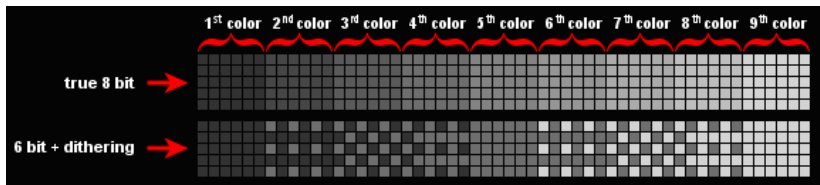
Dithering



- Lewa: “TrueColor” (ok. 16mln)
- Prawa: 16 kolorów
- Złudzenie innego koloru poprzez zlewanie się
- Jeśli urządzenie nie potrafi wyświetlić

Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/Ordered_dithering

Dithering i Frame Rate Control w monitorach LCD



Źródło:

http://www.photokaboom.com/photography/learn/tips/070_computer_purchase_dithering.htm

- “TrueColor” to $2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 16.777.216$ kolorów
- TN+Film to 6-bitów / kanał
- Przy 6-bitach mamy tylko $2^6 \times 2^6 \times 2^6 = 262.144$ kolorów
- Dodatkowe kolory dzięki ditheringowi lub Frame Rate Control (zmiana koloru w czasie). Wtedy 16,2 mln kolorów. Wada: mruganie.