

Grafika komputerowa

Wykład 11

Barwa czy kolor?

Romuald Kotowski

Instytut Informatyki i Automatyki
Państwowa Wyższa Szkoła Informatyki i Przedsiębiorczości w Łomży

2 0 0 9

Spis treści

- 1 Wstęp
- 2 Barwa
 - Barwy fałszywe, barwy prawdziwe
 - Światło a percepcja barw
- 3 Mieszanie barw
 - Mieszanie addytywne barw
- 4 Trójkąt barw Maxwella

Spis treści

- 1 Wstęp
- 2 Barwa
 - Barwy fałszywe, barwy prawdziwe
 - Światło a percepcja barw
- 3 Mieszanie barw
 - Mieszanie addytywne barw
- 4 Trójkąt barw Maxwella

Spis treści

- 1 Wstęp
- 2 Barwa
 - Barwy fałszywe, barwy prawdziwe
 - Światło a percepcja barw
- 3 Mieszanie barw
 - Mieszanie addytywne barw
- 4 Trójkąt barw Maxwella

Spis treści

- 1 Wstęp
- 2 Barwa
 - Barwy fałszywe, barwy prawdziwe
 - Światło a percepcja barw
- 3 Mieszanie barw
 - Mieszanie addytywne barw
- 4 Trójkąt barw Maxwella

Wstęp

Dziś omówimy:

- barwy
- wpływ oświetlenia na percepcję barwy
- mieszanie barw
- matematyczne modele barw

Spis treści

- 1 Wstęp
- 2 Barwa
 - Barwy fałszywe, barwy prawdziwe
 - Światło a percepcja barw
- 3 Mieszanie barw
 - Mieszanie addytywne barw
- 4 Trójkąt barw Maxwella

Barwa

Barwy tęczy to barwy fałszywe. Prawdziwe barwy przedmiotu wynikają z mieszania światła i ciemności (Seneka)

Dlaczego tak się dzieje, że każdy z nas nie postrzega barw w sposób identyczny? Po pierwsze, dlatego, że nasza pamięć wizualna jest bardzo uboga (w porównaniu z pamięcią słuchową) i ogranicza nasze możliwości zapamiętywania (zapamiętywania, a nie odróżniania) wielu kolorów nawet Wyraźnie różniących się od siebie. Po drugie, nazwy kolorów są nieadekwatne. Chociaż na co dzień mamy do czynienia z ogromną ilością wrażeń barwnych, to język potoczny dysponuje tylko niewielką liczbą nazw. Na przykład, w języku angielskim mamy około 30 nazw kolorów. A ile jest nazw kolorów w języku polskim?

Normalny obserwator odróżnia od 300 tysięcy do 1 miliona barw. Grafika komputerowa wymaga wyjątkowo precyzyjnego nie tylko nazewnictwa, ale i jednoznaczności w zdefiniowaniu barwy.

Barwa

Technika cyfrowa pozwala na monitorze komputera przedstawić przeszło 16 milionów barw (16 777 216) jako 256 poziomów koloru czerwonego (R), zielonego (G) i niebieskiego (B). W modelu RGB mającym dokładność np. 24 bitów (3 kanały \times 8 bitów, czyli każdy kanał barwy R,G,B jest opisany liczbą 8-bitową), można uzyskać w każdym kanale 256 poziomów jasności.

W teorii barwy spotykamy różne definicje klasyfikujące barwy: barwa prosta, barwa złożona, barwa główna, barwa dopełniająca, barwa niekolorowa, barwa procesowa czy barwa miejscowa. Problem barwy (nie tylko w grafice komputerowej) jest dość skomplikowanym zagadnieniem.

Barwa

Definicja: barwa jest psychofizyczną cechą percepcji wzrokowej.

Percepcja taka jest możliwa wtedy i tylko wtedy, gdy zachodzą trzy procesy:

- 1 emisja światła,
- 2 pobudzenie receptorów siatkówki oka,
- 3 przetworzenie w korze mózgowej pobudzeń przekazanych przez nerw wzrokowy.

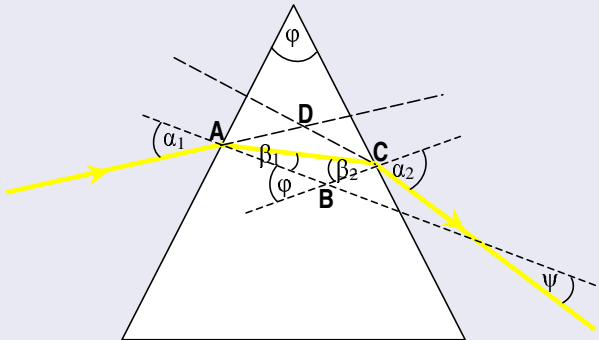
Każdą barwę można w pełni i jednoznacznie zdefiniować trzema atrybutami:

- 1 kolorem (odcieniem, walorem),
- 2 nasyceniem,
- 3 jasnością.

Barwa

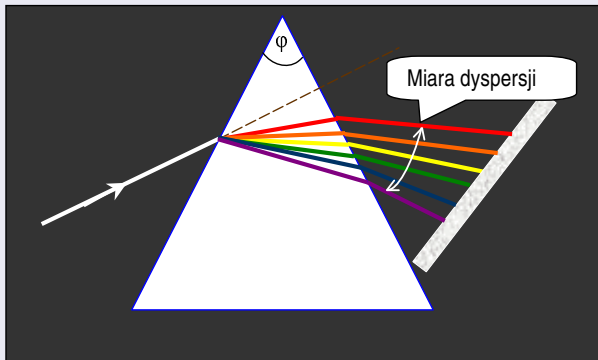
Obserwując newtonowskie rozszczepienie światła białego przez pryzmat, zobaczymy poszczególne pasma widma o różnej długości fali (od 400 do 770 nanometrów) i stwierdzimy, że istnieje charakterystyczna różnica między każdym z tych wrażeń. Doznawane wrażenia określa się kolejno: fioletowy, niebieski, zielony, żółty, pomarańczowy, czerwony. Tę cechę wrażenia wzrokowego nazywa się kolorem. Istnieje jednak mnogość innych barw. Każdą z nich można otrzymać przez zmieszanie promieniowania z wiązką światła białego.

Kolor



Rys. 1: Zasada załamania promienia świetlnego w pryzmacie

Kolor



Rys. 2: Rozszczepienie światła w pryzmacie

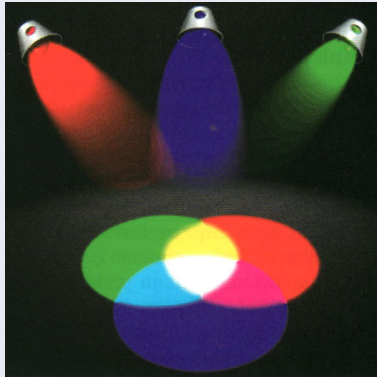
Barwa

Atrybuty barwy

- Kolor:
- Nasycenie: dodając coraz więcej bieli, otrzymamy barwę postrzeganą jako niezmienioną w kolorze, ale coraz bledszą.
- Jaskrawość: (jasność, w kolorymetrii – luminancja)
zmniejszając lub zwiększając strumień światła nie stwierdzimy ani zmiany koloru, ani nasycenia, ale będziemy odbierać wrażenie zmiany barwy w postaci słabszego lub mocniejszego światła.

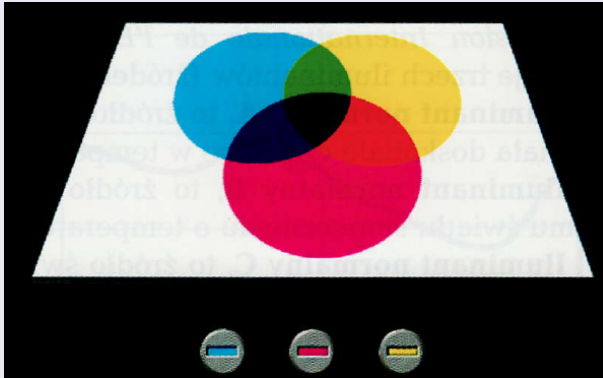
Kolor

Barwa złożona: mieszanina powstałych na drodze addytywnej (mieszanie barwnych światła) lub subtraktywnej (mieszanie farb).



Rys. 3: Mieszanie barwnych światła: mieszanina addytywna

Kolor



Rys. 4: Mieszanie barwnych farb: mieszanina subtraktywna

Kolor

Drukarz (podobnie jak malarz), nakładając farby, dokonuje mieszania substraktywnego barw, ponieważ każda farba usuwa ze światła tę jego składową, jaką pochłoneła.

Farba czerwona pochłonie fale krótkie i średnie (niebieskie i zielone), a rozproszy i odbije fale czerwone (długie).

Farba zielona pochłonie fale długie (czerwone) i niebieskie krótkie), a odbije fale średnie, czyli zielone.

Drukarz mieszając farbę zieloną i czerwoną, otrzyma w efekcie barwę brunatną, ponieważ zielona pochłonie promieniowanie niebieskie i czerwone, a farba czerwona pochłonie promieniowanie niebieskie i zielone. Przy mieszaniu farby żółtej i niebieskiej otrzyma wypadkową barwę mieszaniny zieloną, ponieważ farba składowa niebieska pochłonie promieniowanie fal długich (czerwone), a żółta fal krótkich (niebieski). Odbiciu ulegną tylko fale średniej długości, czyli zielone, i dlatego barwę mieszaniny odbierze jako **zieloną**.

Kolor

Barwy

- Barwy proste, zwane także czystymi, to barwy jednorodnych promieniowań monochromatycznych charakteryzujących się jedną tylko barwą, której jak pisał Newton: *nic nie może zmienić*.
- Barwy główne, zwane także pierwotnymi lub podstawowymi, to takie barwy proste, które spełniają zasadę syntezy trójdychromatycznej. Mówiąc prościej, mieszając barwy główne w odpowiednich proporcjach, można odwzorować każdą barwę w mieszanii addytywnym (RGB) lub substraktywnym (CMY).
- Barwy dopełniające to dwie takie barwy, które przy mieszanii addytywnym dają biel, a przy mieszanii substraktywnym dają czern.

Kolor

Barwy

Barwy niekolorowe to takie barwy, których atrybut koloru jest zerowy.

Biel jest specyficzną barwą niekolorową, której nie tylko atrybut koloru jest zerowy, ale także zerowe jest nasycenie, za to atrybut jasności jest w najwyższym wymiarze.

Czerń jest także barwą niekolorową, której atrybut koloru i jasności są w wymiarze zerowym, ale atrybut nasycenia jest w najwyższym wymiarze ilościowym.

Między bielą i czernią jest cała paleta barw niekolorowych zwanych szarościami.

Spis treści

- 1 Wstęp
- 2 Barwa
 - Barwy fałszywe, barwy prawdziwe
 - Światło a percepcja barw
- 3 Mieszanie barw
 - Mieszanie addytywne barw
- 4 Trójkąt barw Maxwella

Światło a percepcja barw

Barwy

Każde źródło światła można scharakteryzować jego:

- natężeniem,
- składem widmowym,
- temperaturą barwową.

Poprawne postrzeganie barw gwarantują źródła światła o charakterystyce ciągłej i temperaturze barwowej od 5000°K do 9000°K (K - stopnie Kelwina). Im wyższa temperatura barwowa, tym bardziej 'zimna' jest barwa światła.

Problemem optymalizacji źródeł światła zajmuje się Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), która w 1931 roku podała definicje trzech iluminantów (źródeł światła) normalnych A,B,C.

Światło a percepcja barw

Barwy

Illuminant normalny A – źródło światła odpowiadające promieniowaniu ciała doskonale czarnego w temperaturze barwowej 2855.6° K .

Illuminant normalny B – źródło światła odpowiadające bezpośredniemu światłu słonecznemu o temperaturze barwowej 4874° K .

Illuminant normalny C – źródło światła odpowiadające przeciętnemu światłu dziennemu o temperaturze barwowej 6774° K .

Światło a percepcja barw

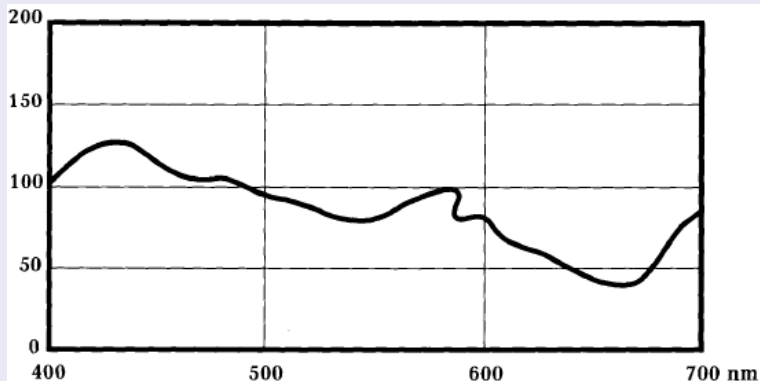
Barwy

W latach sześćdziesiątych wprowadzono jeszcze pojęcie **iluminanta normalnego D**. W procesach poligraficznych mają zastosowanie dwa znormalizowane źródła światła:

- **D 50** – o temperaturze barwowej 5000° K, przeznaczone dla oryginałów przezroczystych (np. slajdy),
- **D 65** – o temperaturze barwowej 6500° K, przeznaczone dla oryginałów refleksyjnych (np. odbitki na papierze fotograficznym).

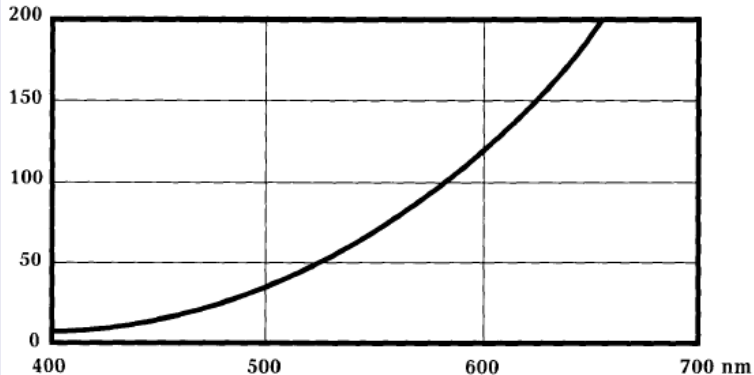
Profesjonalne studia graficzne i drukarnie wyposażone są w specjalne stanowiska do oceny barw posiadające specjalne oświetlenie odpowiadające standardowi D 65. Wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z oceną lub porównywaniem barw, nie można stosować światła jarzeńówek, ponieważ te źródła światła nie mają ciągłej charakterystyki, co oznacza, że niektóre zakresy promieniowań w ogóle nie występują.

Kolor



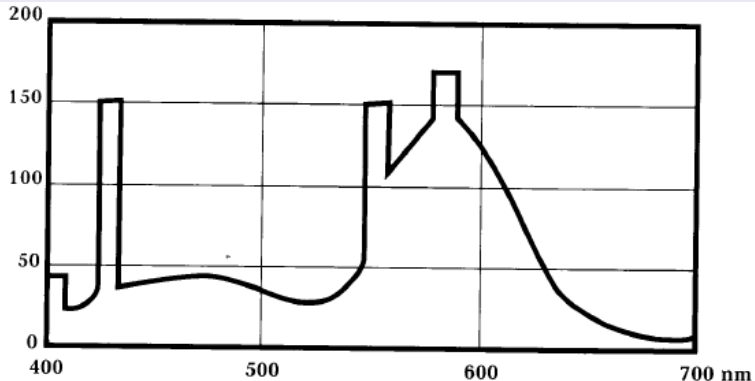
Rys. 5: Charakterystyka sztucznego światła nieba północnego. Jest to przefiltrowane światło dzienne, 'światło specjalne'. Krzywa ta jest zbliżona do charakterystyki naturalnego światła dziennego w całym zakresie widma widzialnego.

Kolor



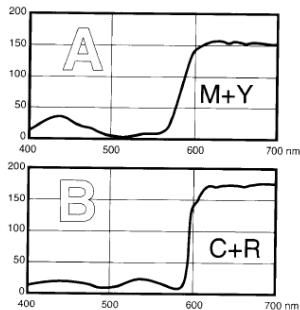
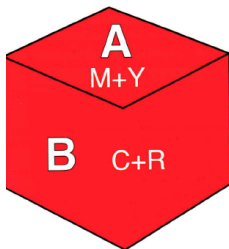
Rys. 6: Charakterystyka typowej żarówki (iluminant A). Uwagę zwraca bardzo wysoki poziom energii w zakresie barw czerwonych w porównaniu z barwami niebieskimi i fioletowymi. Przy takim oświetleniu zakłócona będzie percepcja barw niebieskich i fioletów.

Kolor



Rys. 7: Charakterystyka typowego światła fluorescencyjnego. Niedoskonałości występują na każdej krawędzi spektrum, co oznacza, że trudno jest oceniać różnice barw – takie oświetlenie nie może być zastosowane przy ocenie barw.

Metameryzm



Rys. 8: Metamery – przy znormalizowanym świetle różnice w barwie A (magenta + żółta) i B (cyan + czerwień specjalna) będą widoczne, ale po zmianie oświetlenia cała powierzchnia sześciokąta może się wydawać jednolita. W praktyce drukarskiej efekt metameryzmu występuje często, np. w przypadkach stosowania barw specjalnych. Kolorymetria rozpoznaje takie zmiany, oblicza je i pokazuje w postaci indeksu metamerii.

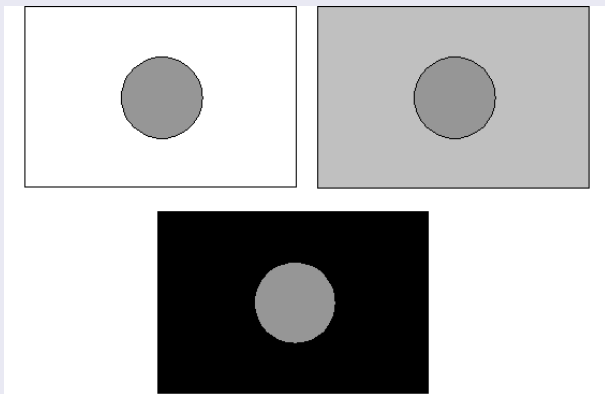
Kolor

Indukcja barw

Zjawisko indukcji przestrzennej lub kontrastu współczesnego: wzajemne oddziaływanie barwnych plam na siebie – (rys. 9) niewielka szara plama na rozległym białym tle wydaje ciemniejsza niż na szarym, na czarnym wydaje się jaśniejsza jaśniejsza. Szara plama na tłach barwnych: na obrzeżach przybiera zabarwienie zbliżone do barw dopełniających: na tle czerwonym będzie zielonkawa, na zielonym czerwonawa, na niebieskim żółtawa. W przypadku plamy barwnej na barwnych tłach, np.: żółta na tle czerwonym przybiera zabarwienie zielonożółte, na tle zielonym pomarańczowe, na niebieskim pozostanie żółta, ale nabierze pozornie większego nasycenia.

Kolor

Indukcja barw



Rys. 9: Indukcja barw.

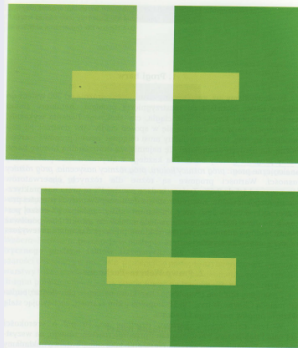
Kolor

Indukcja barw

Mechanizm tego zjawiska ilustruje rys. 10 – kiedy oglądamy rozdzielone plansze, widzimy wyraźnie cztery kolory zielone. Dopiero po zsunięciu plansz możemy się przekonać, że w rzeczywistości mamy do czynienia z trzema zieleniami. Indukcja przestrzenna zawsze powoduje zwiększenie wrażenia kontrastu ponad ten, jaki występowałby bez niej. Wreszcie indukacja przestrzenna wyraża się tym silniej, im większe jest nasycenie barwy indukującej i im bardziej różnią się jasności tych pól.

Kolor

Indukcja barw



Rys. 10: Indukcja barw.

Kolor

Indukcja barw

Drugim rodzajem indukcji towarzyszącej percepcji barw jest **indukcja czasowa** zwana również **kontrastem następczym**. Istotą tego zjawiska jest oddziaływanie pobudzenia pierwotnego na pobudzenie następujące bezpośrednio po nim. Po zaniku bodźca świetlnego nie następuje natychmiastowe ustanie pobudzenia receptorów siatkówki, lecz trwa jeszcze jakiś czas W w postaci przystosowania, a przy silniejszych bodźcach w postaci powidoków. Zjawiskiem indukcji czasowej tłumaczy się pozorne zabarwienie pola białego, na które spojrzymy po dłuższym patrzeniu na pole barwne. Takie pozorne zabarwienie jest tym silniejsze, im większe jest nasycenie barwy indukującej.

Spis treści

- 1 Wstęp
- 2 Barwa
 - Barwy fałszywe, barwy prawdziwe
 - Światło a percepcja barw
- 3 Mieszanie barw
 - Mieszanie addytywne barw
- 4 Trójkąt barw Maxwella

Mieszanie addytywne barw

Widmo światła białego

Widmo światła białego (rys. 15) możemy podzielić zgrubnie na trzy zakresy:

- 1 od 400 do 494 nm - barwy niebieskie (B),
- 2 od 494 do 570 nm - barwy zielone (G),
- 3 od 570 do 700 nm - barwy czerwone (R).

Barwy dopełniające: dwa takie promieniowania monochromatyczne, które przy mieszaniu addytywnym dają światło białe.

Mieszanie addytywne barw

Widmo światła białego

Każde promieniowanie pierwszego odcinka ma promieniowanie o barwie dopełniającej w trzecim odcinku.

Promieniowania środkowego odcinka mają swoje promieniowania dopełniające w purpurach, które otrzymuje się przez mieszanie skrajnych promieniowań widma - czerwieni i fioletu. Gama purpur w pewnym sensie zamyka widmo światła białego. Tak więc barwami dopełniającymi w mieszanii addytywnej są pary:

fioletowa - żółta,

zielona - purpurowa,

czerwona - niebieska.

Dla promieniowań monochromatycznych i purpur przyjęto umowną nazwę *barw czystych*, charakteryzując je przez długość fali. W przypadku purpur jest to długość fali barwy dopełniającej.

Mieszanie addytywne barw

Widmo światła białego



Rys. 11: Widmo światła białego

Mieszanie addytywne barw

Prawo Helmholtza

Empiryczne prawo Helmholtza: dodanie dwu jakichkolwiek promieniowa monochromatycznych równoważne jest wzrokowo dodaniu światła białego i światła czystego.

$$L_1 + L_2 = L_b + L_c$$

L_1 i L_2 – luminancje promieniowań monochromatycznych, L_b – luminancja światła białego, L_c – luminancja światła czystego.

Mieszanie addytywne barw

Prawa Grassmanna

- I prawo Grassmanna – prawo tróchromatyczności: każda dowolna barwa może być odwzorowana za pomocą trzech barw pierwotnych, tj. takich barw, które są niezależne kolorymetrycznie, tzn. że nie można utworzyć równania barw między jedną z nich a pozostałymi.
- II prawo Grassmanna – prawo ciągłości: w mieszaninie złożonej z dwóch barw, stopniowa zmiana barwy jednego ze składników pociąga za sobą zmianę barwy mieszaniny.
- III prawo Grassmanna - prawo addytywności: barwa mieszaniny nie zależy od jej składu widmowego, a jedynie od barw składników.

Mieszanie addytywne barw

Widmo światła białego



Rys. 12: I prawo Grassmanna $S = R + G + B$

Mieszanie addytywne barw

Widmo światła białego



Rys. 13: I prawo Grassmanna nie zachodzi $S \neq R + G + B$

Mieszanie addytywne barw

Prawa Grassmanna

Pomimo różnych prób zmian luminancji barw głównych, barwa badana wciąż wydaje się inna, niż mieszaniny RGB. Aby doprowadzić do równoważności wzrokowej, trzeba przenieść barwę B na lewą stronę. Zgodnie z prawem Grassmanna możemy pomnożyć równanie barw przez mnożnik k .

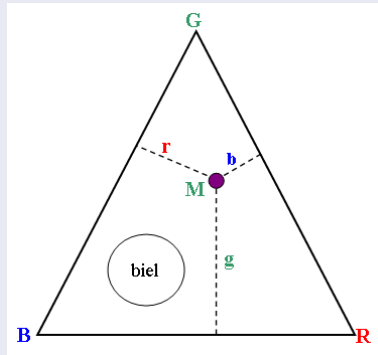
$$kS = k(R + G + B)$$

skąd

$$(*) \quad r + g + b = 1$$

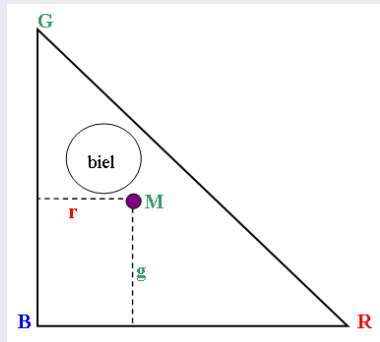
gdzie $r = R/(R + G + B)$, $g = G/(R + G + B)$, $b = B/(R + G + B)$. Znając dwie współrzędne, trzecią zawsze obliczymy. Jeśli pominiemy luminancję, to możemy każdą barwę zdefiniować przez dwie współrzędne, tak jak określa się punkt na płaszczyźnie. Na tej podstawie Maxwell opracował swój słynny trójkąt barw.

Trójkąt barw Maxwella



Rys. 14: Trójkąt barw Maxwella: punkt M wewnątrz trójkąta przedstawia barwę o współrzędnych chromatycznych r , g , b , które są odległościami punktu M od boków trójkąta

Trójkąt barw Maxwella



Rys. 15: Wykres chromatyczności

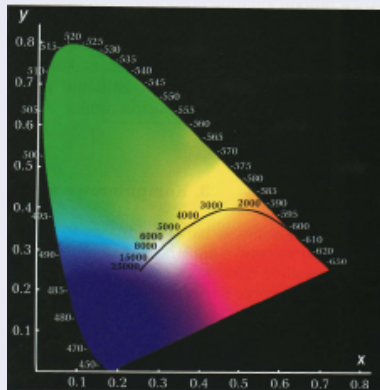
Wykres chromatyczności

Wykres chromatyczności zawiera tylko dwie współrzędne chromatyczności, ale trzecią zawsze możemy obliczyć ze wzoru (*). Na wykresie chromatyczności mogą występować barwy o ujemnych współrzędnych. Aby współrzędne pozostały dodatnie, krzywa widmowa musi leżeć całkowicie wewnątrz trójkąta barw pierwotnych RGB. W tym celu wprowadza się nowy układ współrzędnych X, Y, Z (bodźce odniesienia) i utworzyć nowy trójkąt barw, który jest prostokątny i równoramienny. Współrzędne trójchromatyczne:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}, \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Wartości x i y są zawsze dodatnie, a składowa Y jest identyczna z jasnością światła białego.

Trójkąt bodźców odniesienia

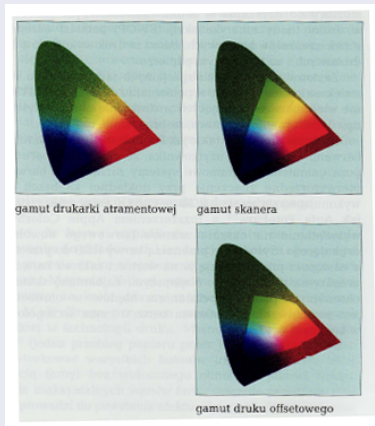


Rys. 16: Wykres chromatyczności

Gamut

Zakres barwowy określający granice możliwości odwzorowania barw przez urządzenia technologiczne tworzące barwy (rys. 17).

Gamut



Rys. 17: Gamuty

Literatura

- [1] W. Pastuszak, Barwa w grafice komputerowej, PWN, Warszawa, 2000
- [2] W. Pastuszak, Trzy spojrzenia na barwę, Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa, 2005
- [3] M. Jankowski, Elementy grafiki komputerowej, WNT, Warszawa, 2006

Koniec? :-)

Koniec wykładu 11