

Computer Graphics 1

Svetlo a farebné modely

Color

Marek Zimányi

Katedra počítačovej grafiky
a spracovania obrazu, FMFI UK, Bratislava

www.dcgip.fmph.uniba.sk/~zimanyi

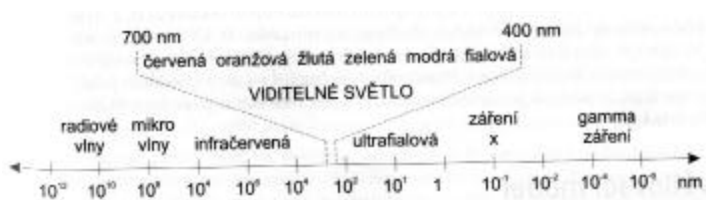
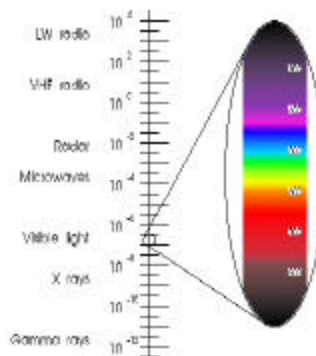
2003/2004

Prehľad

- Svetlo, anatómia oka a farebné videnie
- Kolorimetria
- Zariadenia pre zobrazovanie farieb
- Pomenovávanie a voľba farieb
- Vnímanie jasov a farieb

Co je svetlo?

- Elektromagnetické vlnenie so špecifickou vlnovou dĺžkou, ktoré je vnímané okom



Marek Zimányi, DCGIP

Biele svetlo

Rozsah[nm]	Farba
380-450	Fialova
450-490	Modra
490-560	Zelena
560-590	Zlta
590-640	Oranzova
640-730	Cervena

Biele svetlo (Achromatické svetlo)

- je zmesou všetkých viditeľných vlnových dĺžok
- svetelný zdroj vysiela lúče všetkých frekvencií v danom pásme, ktoré sa skladajú do výsledného bieleho svetla

(slnko, obyčajná žiarovka)

Marek Zimányi, DCGIP

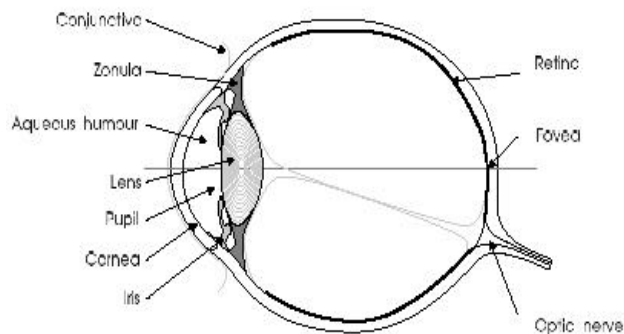
Ako vidíme?

- Svetlo vstupuje do oka
- Je absorbované *fotoreceptormi*
- Signál z fotoreceptorov sa prenáša do mozgu
- Mozog signál interpretuje - vnímanie jasov a farieb

Marek Zimányi, DCGIP

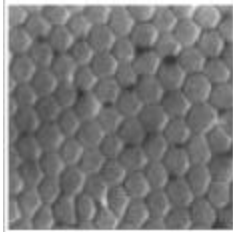
Oko

- Konvertuje svetlo na nervové signály
- Posiela signály do mozgu



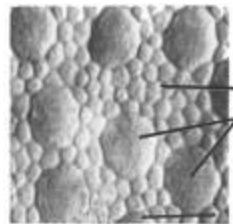
Marek Zimányi, DCGIP

Tycinky a capíky



Capíky

- **Capíky**
 - Silné svetlo
 - Málo citlivé
 - Koncentrované v strede (fovea-jamka)
 - Fotopické videnie (denné sv.)



Tycinky

Capíky

- **Tycinky**
 - Slabé svetlo
 - Videnie za šera
 - Periférne videnie
 - Skotopické videnie

Marek Zimányi, DCGIP

Co je farba?

- Má svetlo nejaký atribút, ktorý môžeme nazvať farbou? **Nemá !**
- **Co je farba?**
 - Farba je subjektívny vnem
 - Výsledok vizuálneho vnímania (ľudského) oka
- **Atribúty**
 - **Chromatické:** červená, zelená,...
 - **Achromatické:** čierna, sivá, biela
 - **Kvantifikátory:** jasná, tmavá, stredná

Marek Zimányi, DCGIP

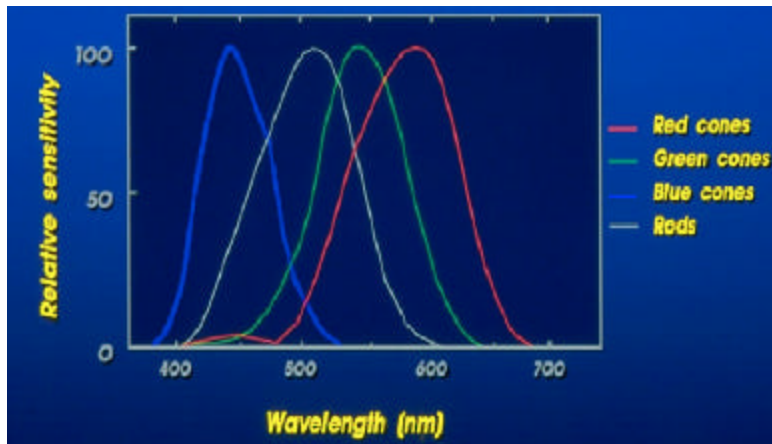
Experiments

- Experim. zisované reakcie oka na farby
= tri druhy (r,g,b)
 - Nejednoznacnosť znázornovanej farby
(žltá = zelená + červená)
ľudské oko ich vníma rovnako
- =>
- Aditívne skladanie
 - Subtraktívne skladanie
(prechod svetla cez filtre)

Marek Zimányi, DCGIP

Spektrálna citlivosť tyčiniek a capíkov

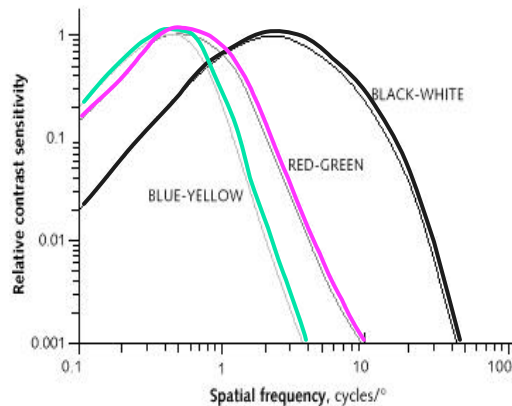
- 3 typy capíkov a tyčinky



Marek Zimányi, DCGIP

Priestorová rozlišovacia schopnosť

- Najcitlivejšie na zelenú farbu
- Nízke rozlíšenie v modrej oblasti
- Jemné detaily nemajú byť modré !



Marek Zimányi, DCGIP

Farboslepost

- 8% mužov, 1% žien
 - Protanopia - porucha R capíkov
 - Deuteranopia - porucha G capíkov
 - Tritanopia - porucha B capíkov
- Problémy s rozlíšením tónov obsahujúcich chýbajúcu farbu

Marek Zimányi, DCGIP

Prehľad

- Svetlo, Anatómia oka a farebné videnie
- Kolorimetria
- Zariadenia pre zobrazovanie farieb
- Pomenovávanie a volba farieb
- Vnímanie jasov a farieb

Marek Zimányi, DCGIP

Meranie farieb

- Vnímanie farieb je
 - subjektívne
 - biologické
- Farebné spektrum predstavuje veľký objem dát
- Farebná metrika preto musí
 - Znížiť objem dát
 - Modelovať biologický proces
 - Dávať spoľahlivé predpovede

Marek Zimányi, DCGIP

Trichromatická teória

- Na vytvorenie správneho farebného vnemu **nemusíme** reprodukovat celé spektrum farby
- **Stacia tri farby, ak:**
 - Žiadna nie je kombináciou ostatných
 - Ich intenzity sú rôzne
 - Povolené sú záporné hodnoty
- Trichromatické spektrálne cinitele (TSC)

$$C = rR + gG + bB$$

Marek Zimányi, DCGIP

Trichromaticke spektrálne cinitele

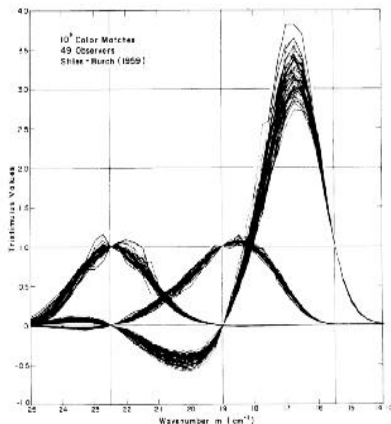
- Podmienky reprezentácie ľubovolnej farby:
 - Poznáme intenzitu zložiek (r,g,b)
 - Zložky sú plne špecifikované (R,G,B)
- Normalizovaná trojica farieb (CIE):
 - Červená (780 nm)
 - Zelená (546.1nm)
 - Modrá (435.8 nm)
- Možná transformácia na inú trojicu

Marek Zimányi, DCGIP

Spektrálna závislosť TSC

Color Matching Function (CMF)

- Graf intenzity ako funkcia vlnovej dĺžky
- Experimentálne výsledky pre veľa pozorovateľov
- Výsledky pre jednotlivcov sú rôzne
- Niekedy je potrebná záporná hodnota (najmä červené svetlo)



Marek Zimányi, DCGIP

Štandardný pozorovateľ

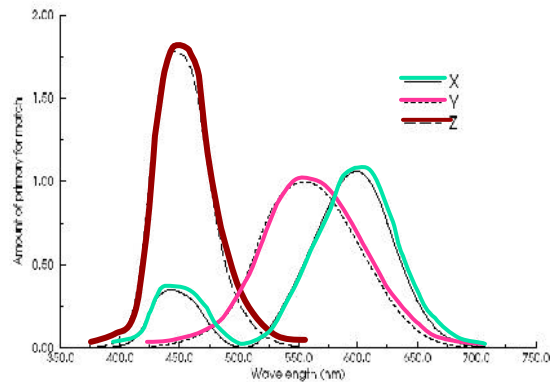
Normalizovaná spektrálna závislosť TSC

- Definovaná v r. 1931 *Medzinárodnou komisiou pre svetlo* (Committee International de l'Éclairage, CIE)
- Stredná hodnota pre 18 normálnych subjektov
- Tabulované po 1nm
- Výsledky transformované pre imaginárne primárne farby X, Y a Z

Marek Zimányi, DCGIP

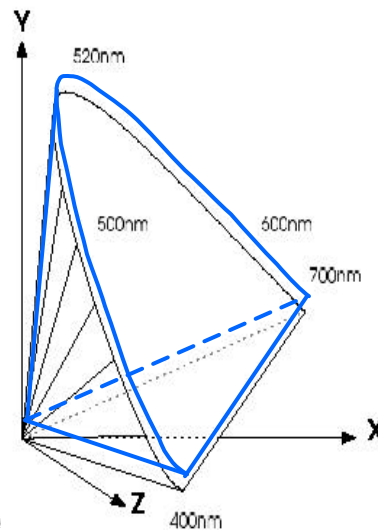
CIE Primárne farby X, Y a Z

- RGB - záporné TSC => Virtuálne farby XYZ
- Všetky viditeľné farby možno reprezentovať kladnými hodnotami X, Y a Z
- X, Y a Z môžeme transformovať do ľubovolnej inej trojice farieb



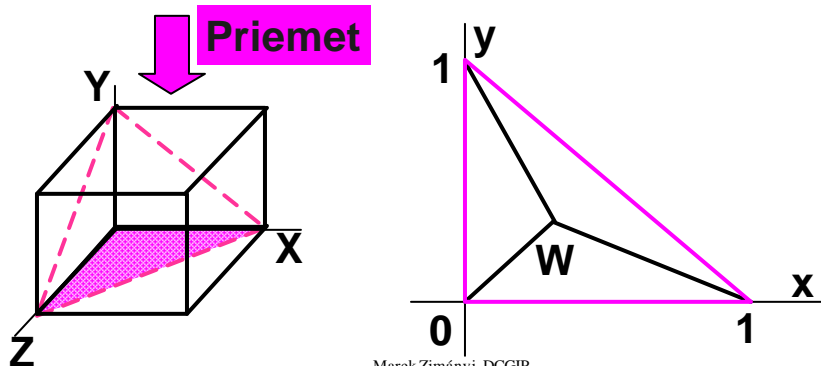
CIE 1931 XYZ diagram

- 3D zobrazenie všetkých TSC
- Kužel viditeľných farieb
- Žiadne farby mimo kužela
- CIE XYZ je priestorovo nerovnomerný model!



Priemet do roviny $x + y + z = 1$

- Zanedbávame jas farby
 - Zobrazenie v xy rovine: $z = 1 - (x + y)$
- $x = X / (X+Y+Z)$; $y = Y / (X+Y+Z)$; $z = Z / (X+Y+Z)$

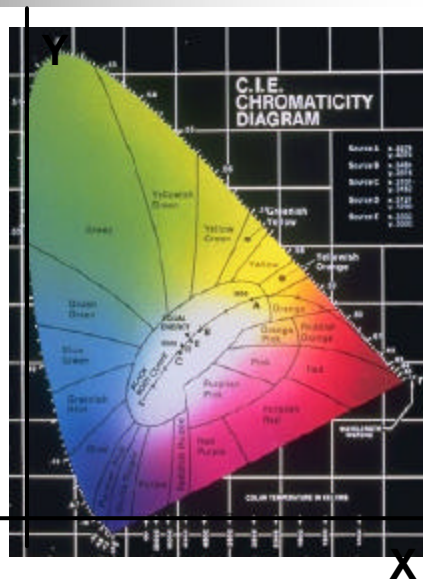


Marek Zimányi, DCGIP

Farebný systém XYZ

- RGB - záporné TSC
- Virtuálne farby XYZ

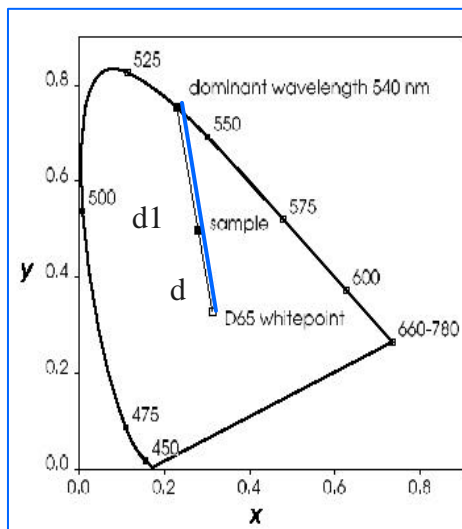
**Množina
možných farieb**



Marek Zimányi, DCGIP

Použitie XYZ diagramu

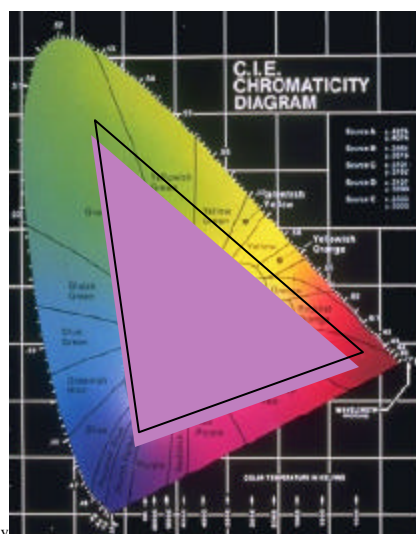
- Zobrazovanie vzájomného vzťahu farieb
- Určenie dominantnej vlnovej dĺžky d
- Cistota = $d1/d$
- Doplnkové farby – zložením vznikne W



Marek Zimányi, DCGIP

Miešanie farieb

- 3 primárne farby vo vrcholoch trojuholníka
- Plocha trojuholníka definuje množinu možných farieb
- Použitie 4 a viac primárnych farieb



Marek Zimányi

Farebný systém RGB

- Farba je vyjadrená pomocou príslušných

$$\text{TSC: } C = rR + gG + bB$$

Množina možných farieb: Kocka v

RGB priestore

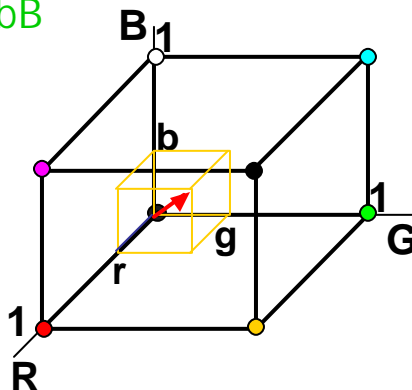
Dĺžka rgb vektora - sýtosť farby

CIE stanovila:

BLUE – 435,8 nm

GREEN – 546,1 nm

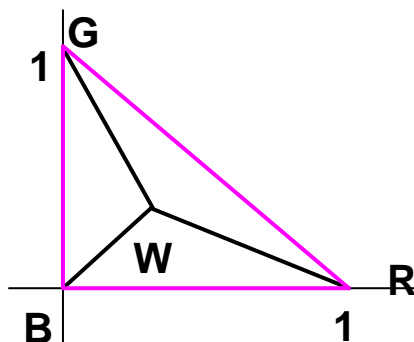
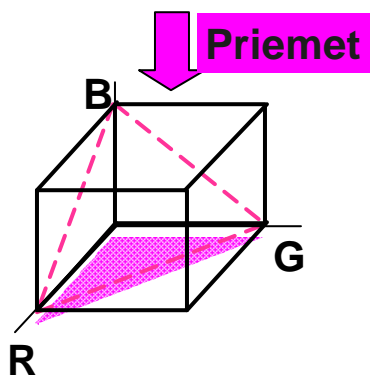
RED – 780,0 nm



Marek Zimányi, DCGIP

Priemet do roviny $r + g + b = 1$

- Zanedbávame jas farby
- Zobrazenie v RG rovine: $b = 1 - (r + g)$



Marek Zimányi, DCGIP

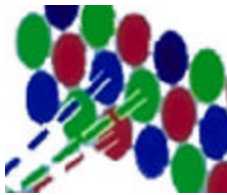
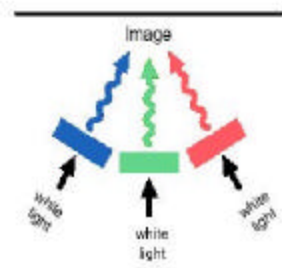
Prehľad

- Svetlo, Anatómia oka a farebné videnie
- Kolorimetria
- Zariadenia pre zobrazovanie farieb
- Pomenovávanie a voľba farieb
- Vnímanie jasov a farieb

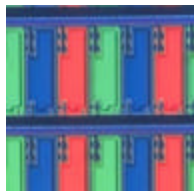
Marek Zimányi, DCGIP

Aditívne miešanie

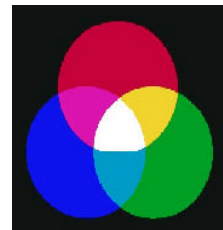
- red, green, blue (RGB)
- Hue(jas), saturation(sytost), value(far. hodnota) (HSV)
- hue, lightness, saturation (HLS)



CRT



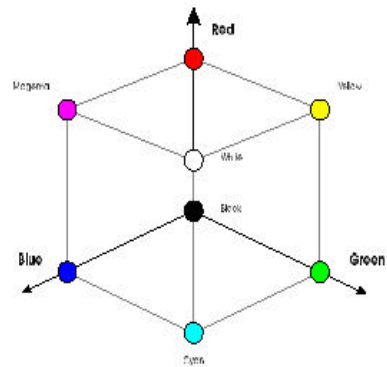
LCD



Marek Zimányi, DCGIP

Aditívne miešanie: RGB model

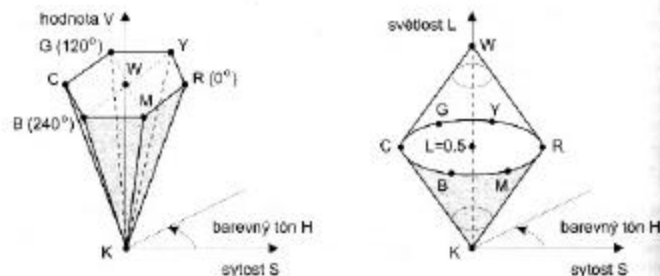
- Vstupné dáta pre monitor
- Množstvo svetla, ktoré má byť emitované luminoforom
- Všetky hodnoty RGB sú zobraziteľné
- Rôzne farby pre rôzne monitory



Marek Zimányi, DCGIP

HSV a HLS

- H - farebný tón - hue spektrálna farba
S - sýtosť – saturation prímes iných farieb
V - jasová hodnota – value množstvo bieleho svetla
L - svetlosť - lightness



Obr. 1.2: Geometrická reprezentácia modelu HSV (ľavo) a HLS (pravo)

Marek Zimányi, DCGIP

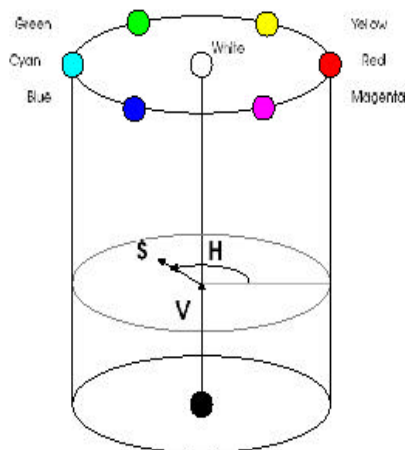
HSV a HLS

- Farebný tón - atribút, pomocou ktorého ľahšie rozlišujeme napr. červenú farbu od modrej.
- Sýtosť - “čistota” farby.
Monochromatické svetlo obsahuje veľmi čisté spektrálne zložky, preto sa aj hovorí, že je sýte.
- Jasová hodnota – miera rozoznávania svetlej farby od tmavej

Marek Zimányi, DCGIP

Aditívne miešanie: HSV Model

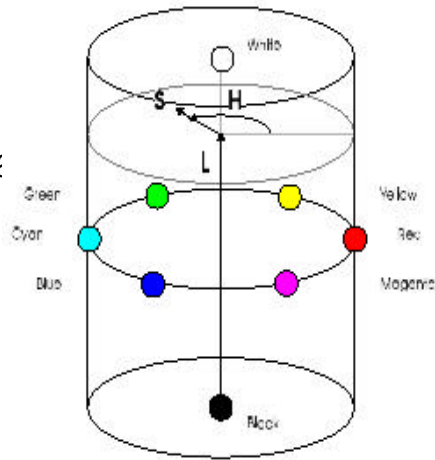
- Hue, Saturation, Value
- Polárna forma RGB modelu
- Rovnaká HW závislosť



Marek Zimányi, DCGIP

Aditívne miešanie: HLS Model

- Hue, Lightness, Saturation
- Iná polárna forma: RGB modelu
- Rovnaká HW závislosť



Marek Zimányi, DCGIP

Prevod RGB - HSV

- Priemetna kolma na os WB => sestuholník
- Pravidla:
 - Velkosť najväčšej zo súradníc r,g,b je zhodná s hodnotou v
 - Na hranách rezu má aspoň jedna hodnota z r,g,b hodnotu 0 -> pre HSV platí s=1
 - Pri zmene s sa menia len dve menšie zložky z r,g,b
 - Pomer rozdielov menších zložiek a max je pri zmene s konštantný

Marek Zimányi, DCGIP

```

RGB_2_HSV(RGBcolor rgb, HSVColor& hsv)
{
    double mx, mn; RGBColor tmp;
    mx = MAX(rgb.r, rgb.g, rgb.b);
    mn = MIN(rgb.r, rgb.g, rgb.b);
    // compute value
    hsv.v = mx
    if( mx != 0)
        hsv.s = (mx - mn)/mx;
    else
        hsv.s = 0.0;
    if(hsv.s == 0.0)
        hsv.h = 0.0; // no huge
    else{
        // compute hue
        tmp.r = (rgb.r) / (mx - mn);
        tmp.g = (rgb.g) / (mx - mn);
        tmp.b = (rgb.b) / (mx - mn);
        if ( rgb.r == mx )
            hsv.h = tmp.g - tmp.b;
        else if (rgb.g == mx)
            hsv.h = 2 + tmp.b - tmp.r;
        else if (rgb.b == mx)
            hsv.h = 4 + tmp.r - tmp.g;
        hsv.h *= 60;
        if(hsv.h < 0.0)
            hsv.h += 360;
    }
}

```

```

RGB_2_HLS(RGBcolor rgb, HLSColor& hls)
{
    double mx, mn; RGBColor tmp;
    mx = MAX(rgb.r, rgb.g, rgb.b); mn = MIN(rgb.r, rgb.g, rgb.b);
    hls.l = (mx + mn) / 2.0 // compute lightness
    if(mx == mn)
        hls.s = 0.0; // color is gray
    else{
        if ( hls.l <= 0.5 ) hls.s = (mx - mn) / (mx + mn);
        else hls.s = (mx - mn) / (2 - mx + mn);
        // compute hue
        tmp.r = (mx - rgb.r) / (mx - mn);
        tmp.g = (mx - rgb.g) / (mx - mn);
        tmp.b = (mx - rgb.b) / (mx - mn);
        if ( rgb.r == mx )
            hls.h = tmp.b - tmp.g;
        else if (rgb.g == mx)
            hls.h = 2 + tmp.r - tmp.b;
        else if (rgb.b == mx)
            hls.h = 4 + tmp.g - tmp.r;
        hls.h *= 60;
        if(hls.h < 0.0)
            hls.h += 360;
    }
}

```

Modely pre TV

- YUV (Y, B-Y, R-Y)
- Y- jas
- Využitie jasoveho kanalu ako pre color tak aj pre B-W monitory

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.141 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Marek Zimányi, DCGIP

Model $Y C_B C_R$

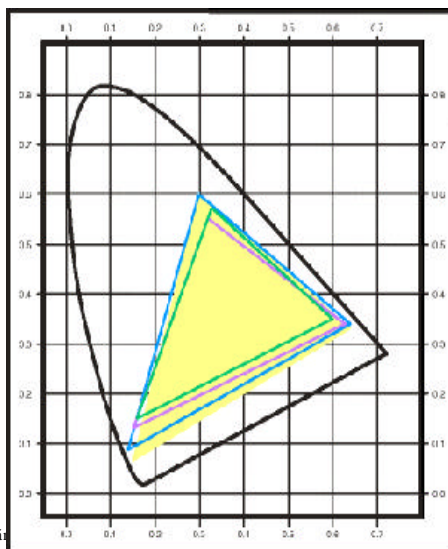
- Používaný vo formate JPEG
- Y - $\langle 0, 1 \rangle$
- C_B, C_R - $\langle -0.5, 0.5 \rangle$
- $C_B = 0.5643(B-Y)$
- $C_R = 0.7133(R-Y)$

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Marek Zimányi, DCGIP

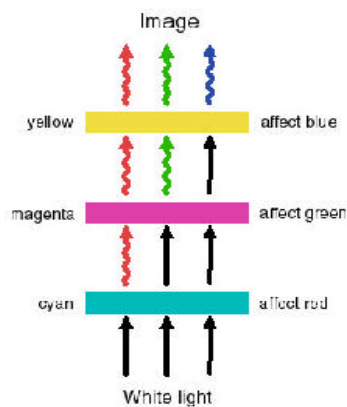
Porovnanie CRT a LCD

- CRT monitory sú si podobné
 - Žltý trojuholník
- LCD sú stále vo vývoji
 - Farebné trojuholníky



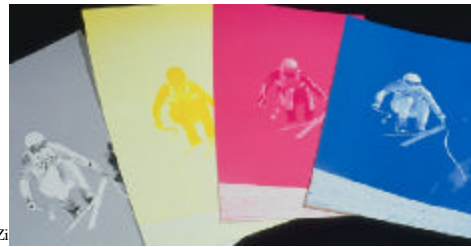
Subtraktívne miešanie

- Cyan, Magenta, Yellow (CMY)
- Diapozitívy, fotografie, tlač



Separácia farieb pre tlač

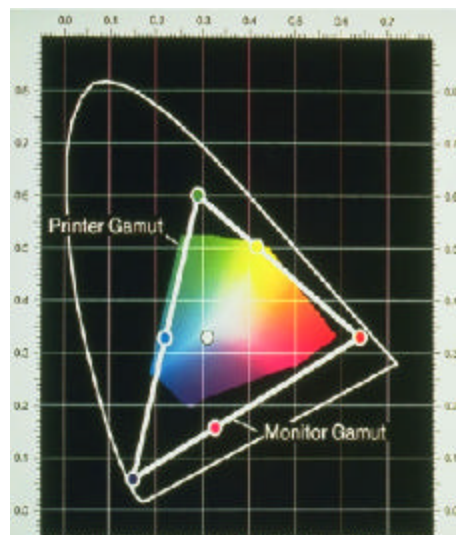
- CMYK separácia
 - red = magenta + yellow
 - green = yellow + cyan
 - blue = cyan + magenta
 - čierna kvôli kontrastu
- Silne HW závislé
- Velmi komplikovaný model



Marek Zi

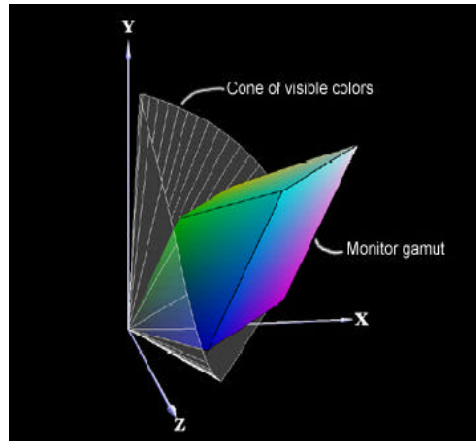
HW pre zobrazovanie farieb

- Špecifické pre daný HW, preto neprenositelné
- Gamut:
 - Množina farieb zobraziteľná daným zariadením



Marek Zim

Gamut je 3D objekt

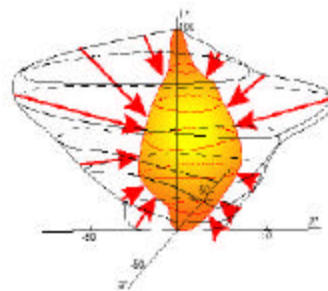


Gamut monitora v XYZ priestore

Marek Zimányi, DCGIP

Prenos obrázkov medzi zariadeniami

- Prispôsobenie gamutu jedného zariadenie druhému
- Cieľ : rovnaký vzhľad



©1998 Adobe Systems, Inc. – BIODGRAPH 98 Course 28, Digital Color

**Monitor => tlačiaren,
farebný priestor CIELAB**

Marek Zimányi, DCGIP

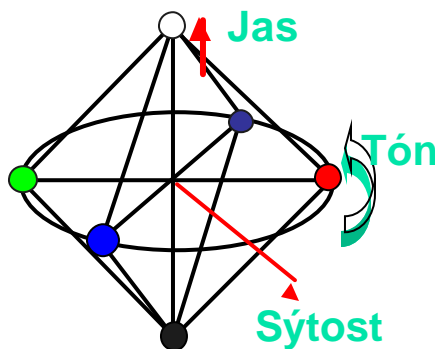
Prehľad

- Svetlo, Anatómia oka a farebné videnie
- Kolorimetria
- Zariadenia pre zobrazovanie farieb
- Pomenovávanie a voľba farieb
- Vnímanie jasov a farieb (M. Sramek)

Marek Zimányi, DCGIP

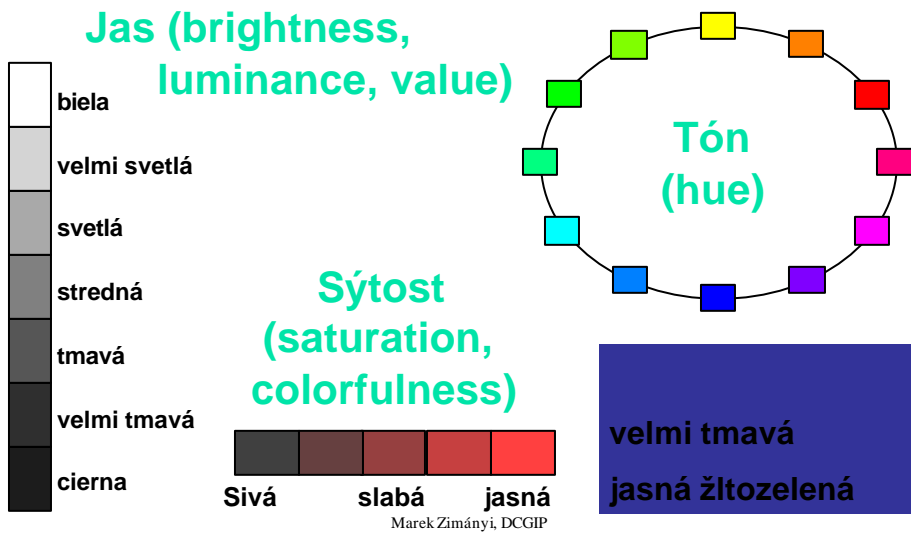
Systemy pre pomenovávanie farieb

- Hering (cca 1890): Usporiadanie 6 základných farieb do 3 protilahlých párov
- Nedovoľuje isté kombinácie, napr.
 - Cervenozelená
 - modrozltá
 - ciernobiela



Marek Zimányi, DCGIP

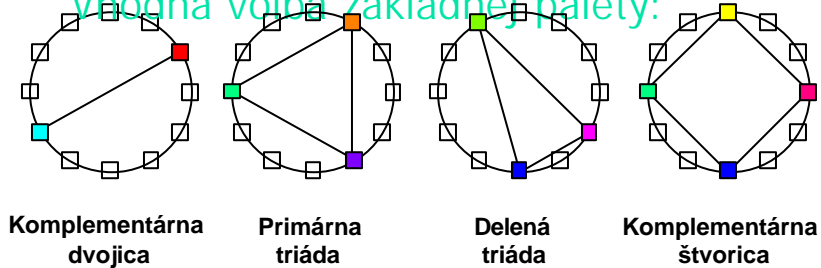
Systemy pre pomenovavanie farieb



Ako voliť paletu farieb

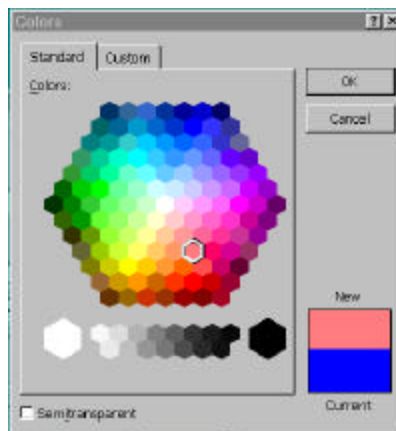
- Volba palety základných tónov
- Modifikácia jasů a sýtosti

Vhodná voľba základnej palety:



Interaktívna voľba farieb

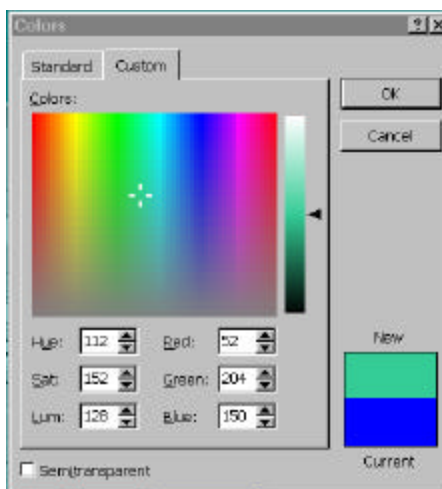
- Predvolená paleta



Marek Zimányi, DCGIP

Interaktívna voľba farieb

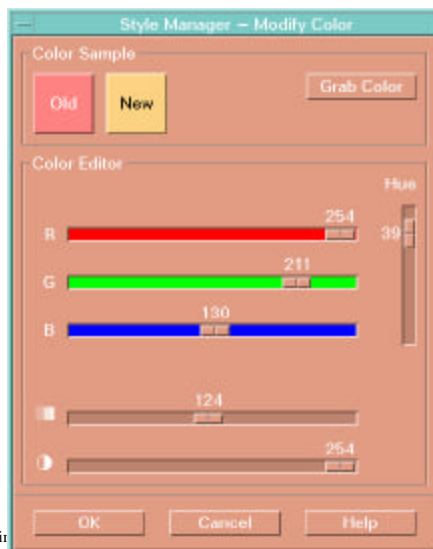
- HSL systém
 - Oddelené hue + saturation a luminance



Marek Zimányi, DCGIP

Interaktívna voľba farieb

- RGB systém



Marek Zimányi

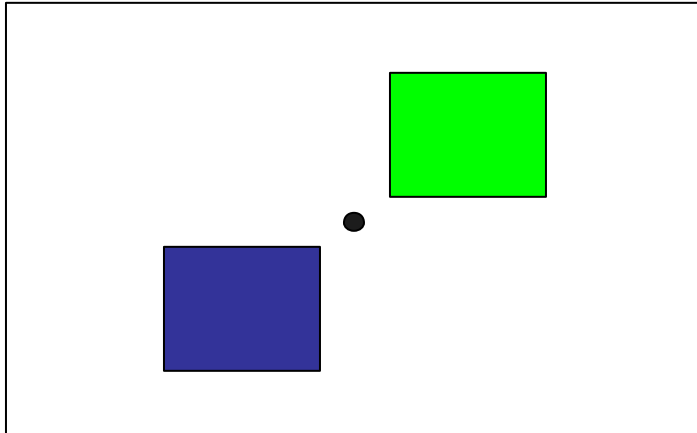
Prehľad

- Svetlo, Anatómia oka a farebné videnie
- Kolorimetria
- Zariadenia pre zobrazovanie farieb
- Pomenovávanie a voľba farieb
- Vnímanie jasov a farieb

Marek Zimányi, DCGIP

Afterimages

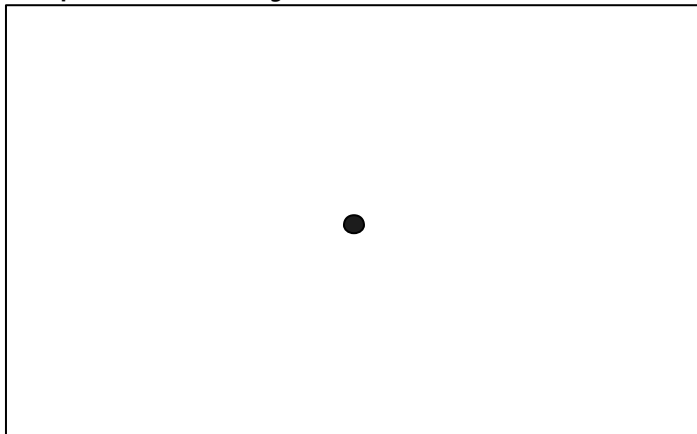
- Adaptácia retiny na stimuláciu



Marek Zimányi, DCGIP

Afterimages

- Adaptácia retiny na stimuláciu



Marek Zimányi, DCGIP

Chromostereopsia

Priestorový efekt súvisiaci s frekvencnou závislosťou indexu lomu

- Lom svetla v šošovke závisí od vlnovej dĺžky
- Zaostrenie na sietnici pre 578 nm (žltá)
- Dlhé vlnové dĺžky (červená): za sietnicou, obraz v popredí
- Krátke (modrá): pred sietnicou, obraz v pozadí

Marek Zimányi, DCGIP

Chromostereopsia

červená červená červená
modrá modrá modrá modrá
červená červená červená
modrá modrá modrá modrá
červená červená červená
modrá modrá modrá modrá

Chromostereopsia

**Modré popredie
na červenom pozadí**

Chromostereopsia

**Červené popredie
na modrom pozadí**

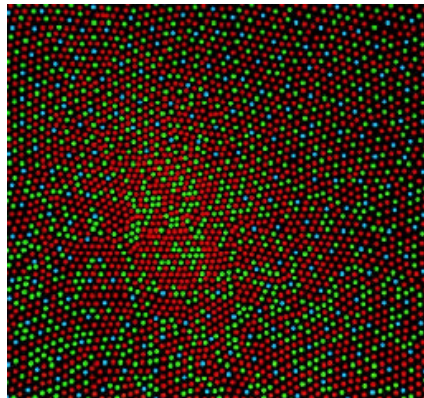
Použitie modrej farby

- "Modrých" capíkov je málo

Modrá sa ťažko cíta

Žltá sa cíta ľahšie

- Obe farby majú max. intenzitu



Marek Zimányi, DCGIP

Vplyv kontrastu na čitateľnosť textu



Marek Zimányi, DCGIP

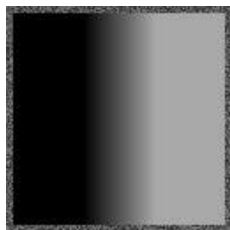
Vzájomný kontrast

- Vnímanie intenzity a tónu farby závisí od kontextu (pozadia)
- Neurónová sieť sietnice spracováva signály lokálne (zvýrazňovanie hrán)
- Dôsledok:
 - Machove pásy, vzájomný kontrast

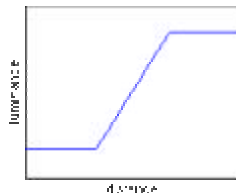
Marek Zimányi, DCGIP

Machove pásy

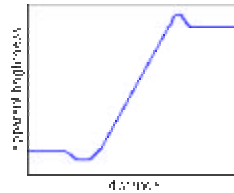
- Ilúzia "falošných" hrán v spojitom obraze



Obrázok



**Skutocný
profil**



**Vnímaný
profil**

Marek Zimányi, DCGIP

Machove pásy

- Iný príklad: konštantný jas



Marek Zimányi, DCGIP

Vzájomný kontrast

- Rovnaké farby vyzerajú ako rôzne



Marek Zimányi, DCGIP

Vzájomný kontrast

- Rovnaké farby vyzerajú ako rôzne



Marek Zimányi, DCGIP

Vzájomný kontrast

- Rôzne farby môžu vyzerat ako rovnaké



Marek Zimányi, DCGIP

Vplyv okrajov na kontrast

Bezoldov jav



Marek Zimányi, DCGIP