

6. BARVY. BAREVNÉ SYSTÉMY.



Cíl Po prostudování této kapitoly budete

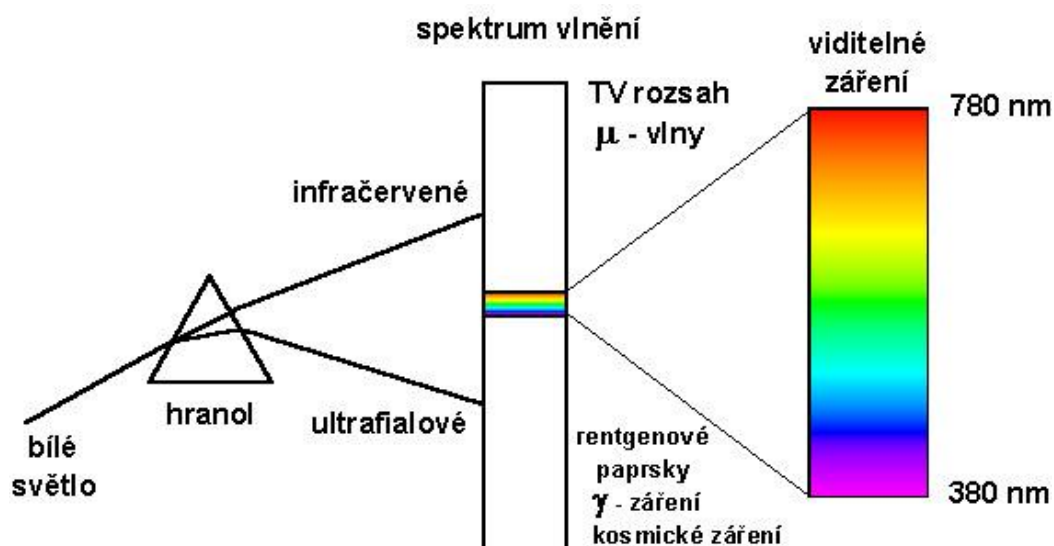
- umět definovat způsob tvorby barev v počítačové grafice
- znát základní barevné systémy používané v počítačové grafice zpracování dat
- znát základní operace s barvami v počítačové grafice na PC



Výklad

Barvy tvoří nedílnou součást počítačové grafiky. Pomocí barev a jejich odstínů lze v počítačové grafice zvýrazňovat nejen tvary těles jejich vzájemných vzdáleností, ale i působit na psychologii člověka, který sedí i několik hodin denně u obrazovky. O působení barev na lidskou psychiku bude pojednáno v části 6.10.

Barvy bezprostředně souvisejí se světlem. Barva je vlastně druh světla. Každá barva odpovídá úzkému frekvenčnímu pásmu spektra. Na dolním rozsahu je červená barva



Obr. 6.1

($4,3 \cdot 10^{14}$ Hz) a nejvyšší frekvenci má fialové světlo ($7,5 \cdot 10^{14}$ Hz). V tomto rozsahu je lidské oko schopno rozlišit na 400 000 různých barev. To je rozsah od červené přes oranžovou pro nižší frekvence až po zelenou, modrou a fialovou pro vyšší frekvence.

Světelný zdroj - slunce, žárovka, zářivka a pod.- vysílají všechny frekvence v daném pásmu, které se skládají v konečné bílé světlo. Takovému světlu říkáme **achromatické světlo**.

Dopadá-li bílé světlo na objekt, jsou některé frekvence odraženy a některé jsou objektem pohlcovány. Výsledná kombinace - pohlcených a odražených frekvencí - to je výsledná barva objektu, kterou vnímáme. Tak se nám může zdát objekt červený - převládá-li odražená nižší frekvence. Naopak, převládá-li vyšší frekvence v odražených - bude se nám objekt jevit v oblasti fialových barev. V takovém případě se převládající frekvenci říká **dominantní frekvence**. Tato dominantní frekvence je pak nazývána **barvou** objektu resp. zabarvením světla resp. tónem.

Lidské oko vnímá nejen barvu, ale reaguje také na:

Jas, respektive **svítivost** (luminanci). Čím vyšší je **intenzita** světla, tím se jeví zdroj jasněji.

Sytost - čistotu barvy. Čím je **spektrum barvy užší**, tím je barva čistší.

Světlost barvy je dána velikostí **achromatických** složek obsažených ve světle s určitou dominantní frekvencí.

Uvedené charakteristiky jsou používány k popisu různých vlastností, které vnímáme u daného zdroje světla. Setkáváme se s pojmem **barevnost** (chromaticita), kterým vlastně označujeme vlastnost charakterizující světlo - to je **sytnost a dominantní frekvence**.

Jestliže máme k dispozici více světelných zdrojů, lidské oko vnímá výsledné světlo jako kombinaci frekvencí, které jednotlivé zdroje vyzařují. Je tak možno ze dvou resp. tří zdrojů, které jsou různých barev, vytvořit celou barevnou škálu, kombinací právě pomocí těchto **základních** (dominantních) **barev**. Pokud kombinací takových barev docílíme barvy bílé, říkáme těmto barvám **doplňkové** (komplementární).

Je tedy možné (a v praxi se tak opravdu děje) pomocí tří základních frekvencí - barev - tvořit celou barevnou škálu. Jedna z častých možností je kombinace barev: červená (red), zelená (green) a modrá (blue) (systém RGB).

Obrázek 6.1 znázorňuje rozsah barev, který je dán délkou elektromagnetického vlnění. Od nejkratších délek, tj. kosmické záření a γ -záření, přechází v ultrafialové záření do oblasti vlnění, které je lidské oko schopno vnímat. Oblast viditelného vlnění ohraničuje infračervené záření. Se zvětšující se vlnovou délkou potom následuje mikrovlnná oblast a oblast pro televizní a rádiové signály atd.

Barvu objektu vnímáme jako barvu, která je dána povahou - tedy spektrálním složením zdroje světla a na spektrální odrazivosti pozorovaného objektu. Kde jsou materiály, které světlo odrážejí, částečně nebo úplně propouštějí (sklo, voda, celofán a pod.).

Materiály lze tak dělit na průsvitné a neprůsvitné. Jestliže objekt modré barvy osvětlíme barvou červenou, bude se objekt jevit jako černý. Tento modrý povrch nemůže odrazit světlo červené barvy.

Bude-li světlo obsahovat **všechny** vlnové délky o přibližně stejné intenzitě, je zdroj světla, **achromatický** čili nepestrý. Takový achromatický zdroj se jeví jako bílý. Obdobně jestliže u objektu odražené resp. propustné světlo se jeví jako bílé, je objekt achromatický. V praxi jsou objekty, které odrážejí více než 80% světla ze zdroje bílého světla, považovány za bílé. Jestliže objekty odrážejí méně než 3% - jeví se jako černé. Intenzitu světla normalizujeme do intervalu $< 0, 1 >$. Černé barvě odpovídá hodnota 0 a barvě bílé odpovídá hodnota 1.

6.1. Achromatické světlo

S achromatickým světlem se setkáváme u černobílého televizoru, terminálu, novin, bodových tiskáren apod. Je však třeba rozlišovat mezi černobílou televizní obrazovkou, kde je možno rozlišovat několik úrovní šedi a mezi jehličkovou tiskárnou, kde nelze rozlišit intenzitu tisku jehličky. Stejně jako u monochromatického displeje, kde je možno rozlišit pouze dvě úrovně. Je jasné, že čím větší je rozlišovací schopnost zařízení, tím je obraz přirozenější. Je to však na úkor rychlosti a paměti. Nehledě na fyziologickou stránku pro lidské oko. Lidské oko v případě rozlišovací schopnosti do 16-ti a méně úrovní je schopno hranici mezi úrovněmi detekovat. Pro 64 a více úrovní již lidské oko nerozliší jednotlivé přechody úrovní šedi. Pro naprostou plynulost přechodu jednotlivých úrovní šedi je zapotřebí 256 a více úrovní.

Vydeme-li z předpokladu, že máme k dispozici 256 úrovní šedi, budeme se ptát, jaké intenzitě budou odpovídat jednotlivé úrovně šedi, aby nevznikaly detekovatelné přechody. Z Lambertova-Beerova zákona - z fyziologického hlediska plyne, že má-li být stupnice úrovní šedi rovnoměrná (jasová stupnice), musí být intenzita záření odstupňována logaritmičticky.

Odvození vztahu mezi stupněm šedi a intenzitou záření je uvedeno v knize V. Skála: Světlo a barvy v počítačové grafice.

V další části se budeme převážně zajímat o černobílé obrazovky a techniky s nimi související.

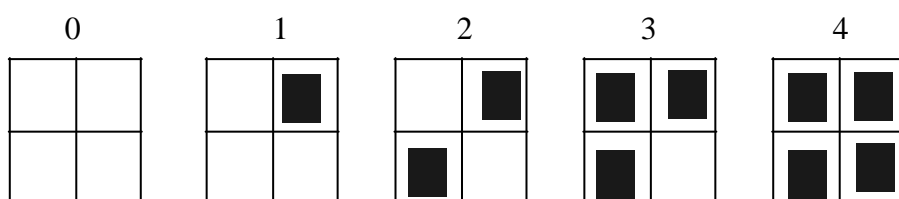
Počet úrovní šedi je dán typem výstupu. Pro bodové tiskárny jde o dvě úrovně. Pro nebarevný výstup (display), je často využito - 16 - 256 úrovní šedi.

6.2. Půltónování - zobrazení obrazu do více úrovní šedi.

Technika půltónování byla vyvinuta pro **transformaci** obrázků se dvěma úrovněmi šedi na více úrovněnou šed'. Příkladem mohou být novinové obrázky nebo transformace rastrového obrazu na velké plochy. Je potřebné - zvláště při zvětšování - zjemnit přechod - zjemnit kontrast - tím, že zvětšíme počet úrovní šedi.

Základní myšlenka - použít vzory tak, aby černé a bílé body vytvářely dojem šedi - **metoda vzorů**.

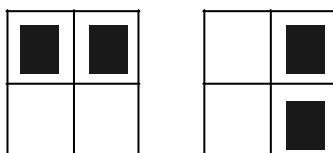
Jde o náhradu pixelů. A to vzorem o rozměru $m \times n$. Pro úroveň pěti stupňů šedi je třeba vytvořit vzor 2×2 .



Obr. 6.2

Maticové vyjádření: $2_T = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}$, kde čísla v matici udávají pořadí vysvicování a místo vysvicovaných pixelů.

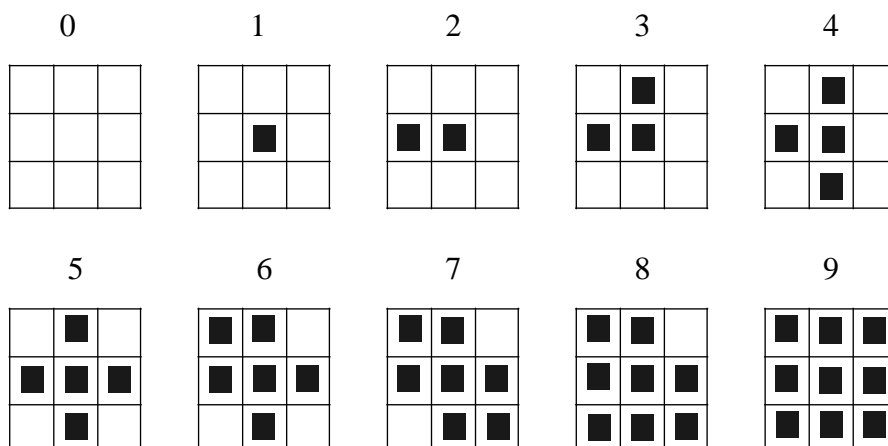
Následující vzory nejsou příliš vhodné. Vytvářejí nežádoucí řádky nebo sloupce.



Obr. 6.3

Pro 10 úrovní šedi je třeba použít vzor 3×3 .

Například:



Obr. 6.4

Vzor na obrázku 6.4 můžeme vyjádřit maticí:

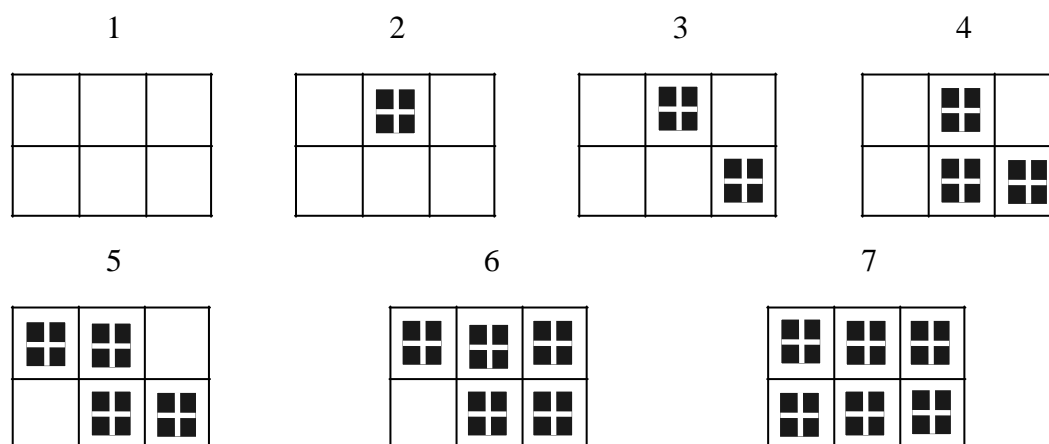
$$3_T = \begin{bmatrix} 6 & 3 & 9 \\ 2 & 1 & 5 \\ 8 & 4 & 7 \end{bmatrix}$$

Pro více úrovní je výhodný vzor 4×4 :

$$4_T = \begin{bmatrix} 1 & 9 & 3 & 15 \\ 13 & 5 & 14 & 7 \\ 4 & 10 & 2 & 12 \\ 16 & 8 & 11 & 6 \end{bmatrix}$$

Je možné používat i vzory, které jsou reprezentovány obdélníkovou maticí.

Na příklad pro 7 úrovní šedi lze použít

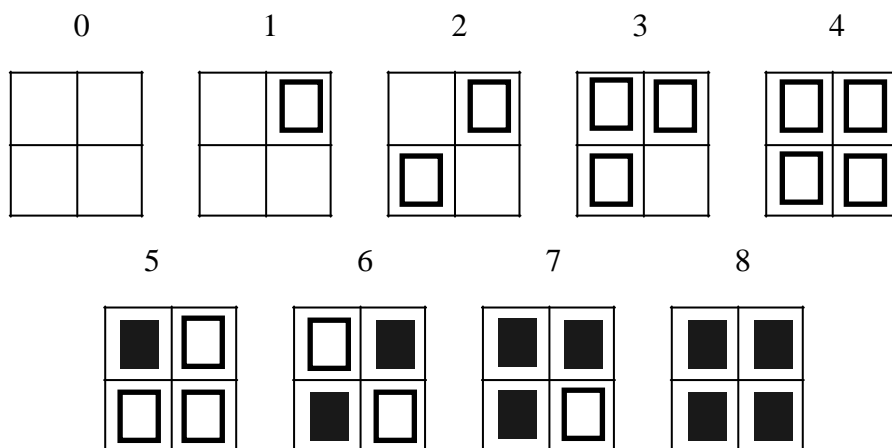


Obr. 6.5

je typ vzoru definovaného maticí $(3,2)_T = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 5 \\ 6 & 3 & 2 \end{bmatrix}$

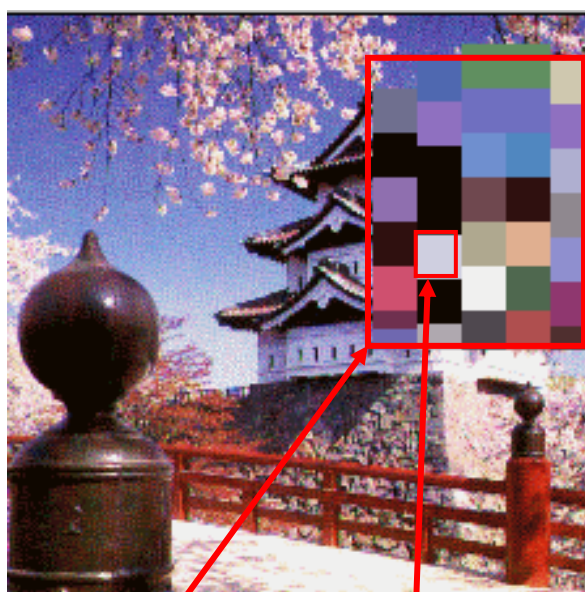
Použitím obdélníkové matice je možno částečně nebo zcela eliminovat rozdíl mezi sousedními body v horizontálním resp. vertikálním směru s ohledem na konkrétní zařízení.

Jestliže na některých výstupních zařízeních je možno realizovat rozlišení šedi na více než dva stupně intenzity (0,1), je nutno každému pixelu přidělit více než jeden bit. Následují příklady rozlišení silnějšího ■ a slabšího pixelu □.



Obr. 6.6

Při použití více bitů je možno vytvářet vícestupňové úrovně intenzit pro vybarvení pixelů. Uplatní se pro přetisky resp. tiskárny, kde je možno ovládat množství barvy, která je nanášena.



Určená oblast Zprůměrované barvy

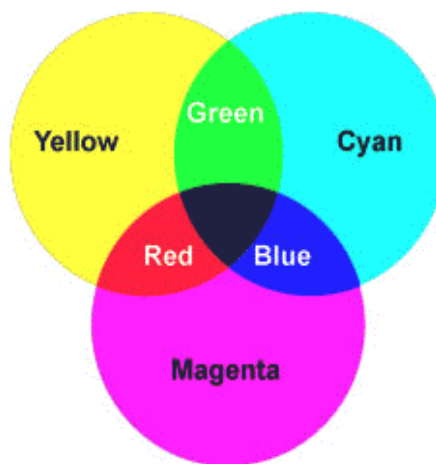


Obr. 6.7

Na obrázku 6.7 je ukázka **rozmyvání obrazu**. V určené části snímku jsou sečteny jednotlivé složky barev a políčka pixelů jsou vybarveny barvou, kde jednotlivé složky výsledné barvy jsou průměrem všech pixelů políčka.

6.3. Chromatické světlo

Přirozené světlo obsahuje složky různých vlnových délek. Chromatické světlo obsahuje barvu i jas. U jasů měříme nějakou energii či výkon. U barvy zkoumáme vlnovou délku. Světlo, které obsahuje pouze jednu vlnovou délku (monochromatické), má jinou barvu než světlo s jinou vlnovou délkou. Lidské oko ovšem směsí různých vlnových délek (a jiná světla se v podstatě nevyskytují) také interpretuje jako barvu, ne jako směs barev. Navíc je možné najít taková světla, která mají odlišné frekvenční složení, ale vyvolávají u člověka stejný barevný vjem. Navíc barvy jako světle zelená, růžová (či konec konců i šedá) z principu nejsou monochromatickými světly. Čili: potřebujeme něco jiného. V počítačové grafice toto přirozené světlo skládáme ze tří barev.



Obr. 6. 8

6.3.1. Systém RGB

Základem systému jsou barvy:

červená (R, Red) - 780,0 nm,

zelená (G, Green) - 546,1 nm,

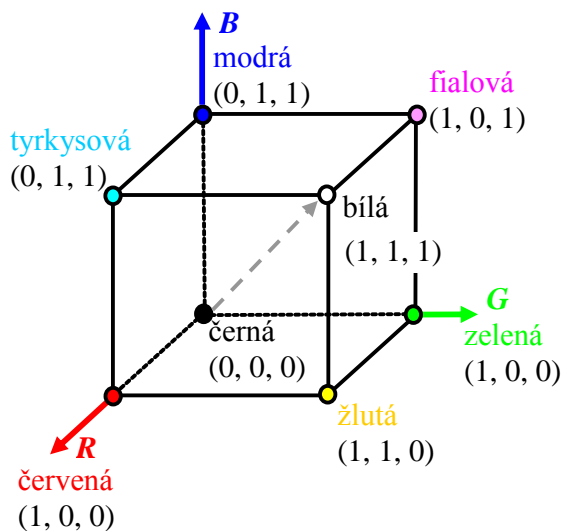
modrá (B, Blue) - 435,8 nm. Systém RGB

je **aditivní** (*doplňkový*). Kombinací dvou základních barev vzniká barva sekundární.

Při **aditivní metodě** se přidávají tři základní barvy a kombinace všech tří RGB barev vznikne barva bílá. Tímto způsobem pracuje televize, scanner, monitor a jevištní osvětlovací technika.

Aditivní metoda barvy **sčítá**.

Modrozelené (C-Cyan), purpurové (M -Magenta) a žluté (Y-Yellow) v subtraktivním modelu systému CMY.



Obr. 6. 9

Alfa kanál (angl. *alpha channel* nebo *alpha transparency channel*) je komponenta pixelu udávající hodnotu průhlednosti tohoto pixelu. Typickým příkladem je **barevný model RGBA**, kde mimo barevných komponent R (červená), G (zelená) a B (modrá) je komponenta **A** nesoucí informaci o průhlednosti. Průhlednost pixelu znamená, že pokud bitmapový obrázek s definovanou průhledností překrývá jiný obrázek, původní obrázek na pozadí bude zobrazen v daném bodě pixelu s intenzitou danou průhledností pixelu obrázku na popředí.

Bitové rozlišení alfa kanálu může být jen 1 bit, potom hovoříme o masce průhlednosti – pixel je buď 100% průhledný nebo neprůhledný. Jednabitová průhlednost může být použita například v obrázku ve formátu GIF. Pro vyšší bitové rozlišení lze již spočíst průhlednost pixelu, nejčastější bitové rozlišení je 8 bitů (model RGBA) a lze definovat 2^8 (= 256) úrovní průhlednosti pixelu.

Pro zpracování obrazu s průhledností nemusí být alfa kanál součástí bitmapového obrázku, ale může být jako samostatná bitmapa. Potom hovoříme o bitmapové masce obrázku.

Nejtypičtějším příkladem bitmapy s průhledností je obrázek použitý jako ukazatel polohy na obrazovce počítače (kurzor). Alfa kanál používá například grafický formát PNG.

S potřebou pro zobrazování složených kompozic se přijaly varianty RGB, které zahrnují jakýsi extra 8bitový kanál pro průhlednost, toto má za následek formát 32 bpp. Kanál průhlednosti je obvykle znám jako alfa kanál, proto je nazýván **RGBA**. **RGBA** není zřetelný barevný model, je to jen formát souboru, který integruje v jednom souboru informaci o průhlednosti spolu s informací o barvách. Povoluje alfa směšování, prolínání obrazu - vrstvení (ve formátu PNG). **RGBA** není jedinou metodou průhlednosti v grafice, podívejte se na průhlednost („transparenci“) grafiky pro alternativy. Digitální fotoaparáty, které využívají CMOS nebo CCD obrazový snímač, operují často s **RGB** systémem. Snímač může mít červeno-zeleno-modrou mřížku uspořádanou detektory tak, že první řada je **RGRGRGRG** a následující je **GBGBGBGB** a tak dále. V Bayerově filtru je zelená detekována více než červená a modrá proto, aby bylo dosaženo vyššího jasu než barevného rozlišení.

6.3.2. Systém CMY(K)

Systém CMY je používán pro filmové materiály nebo pro barevné tiskárny, kdy se barvy odečítají od bílého pozadí. Model systému je na obrázku 6.10

Barvy systému jsou:

Modrozelená (C-Cyan),

Purpurová (M-Magenta),

Žlutá (Y-Yellow).

Barvy lze vyjádřit pomocí váhového součtu jednotlivých složek. Tedy při **kladných** koeficientech r, g, b je barva definována

$$c = rR + gG + bB$$

Promítneme-li jednotkovou krychli kolmo (ve směru osy b) do tzv. jednotkové roviny, dostaneme

$$\bar{r} = \frac{r}{r+g+b} \quad \bar{g} = \frac{g}{r+g+b} \quad \bar{b} = \frac{b}{r+g+b}$$

a tedy

$$\bar{r} + \bar{g} + \bar{b} = 1.$$

A je tedy zřejmé, že druh barvy je určen koeficienty, které přísluší jednotlivým osám $R-G$.

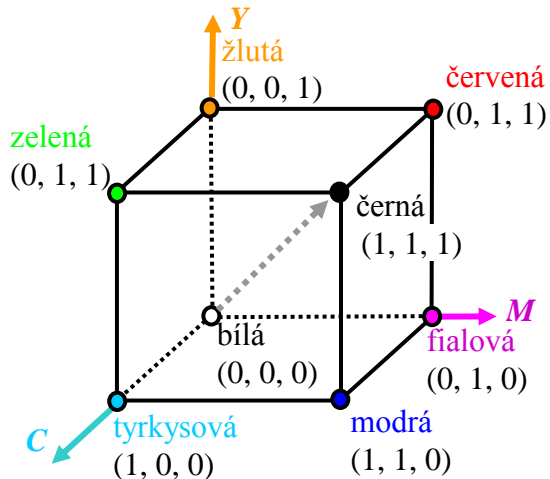
Platí totiž $\bar{b} = 1 - \bar{r} - \bar{g}$.

Poloha bodu W , který reprezentuje bílou barvu je v těžišti pravoúhlého trojúhelníka (Obr. 6.11, Obr. 6.12).

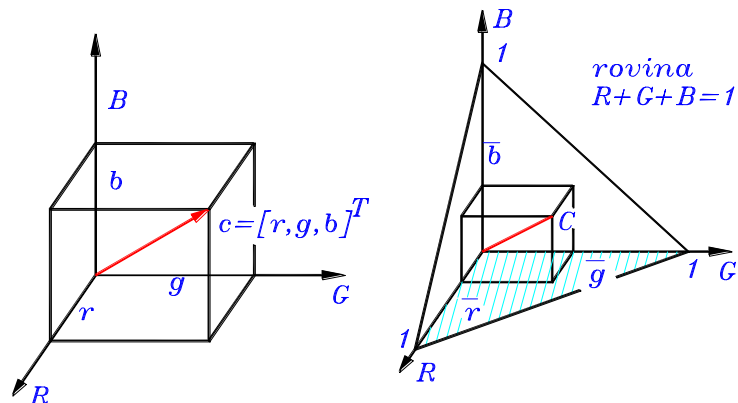
Sytost barvy je potom dána vzdáleností bodu, který danou barvu reprezentuje od bodu W .

Příklad použití nastavení barvy, resp. jejího jasu je na příkladě, smíchání dvou barev, které jsou dány vektory $c_1 = [r_1, g_1, b_1]^T$, $c_2 = [r_2, g_2, b_2]^T$ potom výsledná barva je dána součtem jednotlivých složek, tj.

$$c_3 = [r_1 + r_2, g_1 + g_2, b_1 + b_2]^T.$$



Obr.6.10



Obr. 6. 11

Po promítnutí na jednotkovou rovinu dostaneme

$$\bar{c}_1 = [\bar{r}_1, \bar{g}_1, \bar{b}_1]^T, \quad \bar{c}_2 = [\bar{r}_2, \bar{g}_2, \bar{b}_2]^T,$$

$$\bar{c}_3 = [\bar{r}_3, \bar{g}_3, \bar{b}_3]^T,$$

přičemž:

$$\bar{r}_1 = \frac{r_1}{T_1}, \quad \bar{r}_2 = \frac{r_2}{T_2}, \quad \bar{r}_3 = \frac{r_3}{T_3}$$

$$\bar{g}_1 = \frac{g_1}{T_1}, \quad \bar{g}_2 = \frac{g_2}{T_2}, \quad \bar{g}_3 = \frac{g_3}{T_3}$$

$$\bar{b}_1 = \frac{b_1}{T_1}, \quad \bar{b}_2 = \frac{b_2}{T_2}, \quad \bar{b}_3 = \frac{b_3}{T_3}$$

kde

$$T_1 = r_1 + g_1 + b_1, \quad T_2 = r_2 + g_2 + b_2, \quad T_3 = r_3 + g_3 + b_3.$$

Z těchto rovnic lze odvodit tzv. pákové pravidlo, tj.

$$T_2(\bar{r}_2 - \bar{r}_3) = T_1(\bar{r}_3 - \bar{r}_2),$$

$$T_2(\bar{g}_2 - \bar{g}_3) = T_1(\bar{g}_3 - \bar{g}_2),$$

$$T_2(\bar{b}_2 - \bar{b}_3) = T_1(\bar{b}_3 - \bar{b}_2),$$

Po úpravě dostaneme:

$$r = \frac{\bar{r}_1 T_1 + \bar{r}_2 T_2}{T_1 + T_2}, \quad g = \frac{\bar{g}_1 T_1 + \bar{g}_2 T_2}{T_1 + T_2}, \quad b = \frac{\bar{b}_1 T_1 + \bar{b}_2 T_2}{T_1 + T_2}.$$

Výslednou barvu lze tedy interpretovat jako střed dvouramenné páky, kde součin síly (hodnoty T_2 , resp. T_1) a délky páky ($r_2 - r_3$, resp. $r_2 - r_1$, pro osu červené barvy) se sobě rovnají.

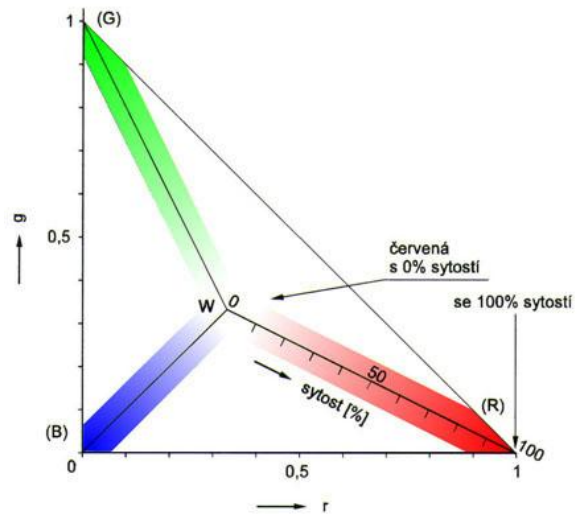
Příklad 1:

Dvě barvy jsou určeny vektory $c_1 = [4, 10, 6]^T$, $c_2 = [26, 6, 8]^T$,
potom výsledná barva bude dána vektorem $c_3 = [30, 16, 14]^T$.

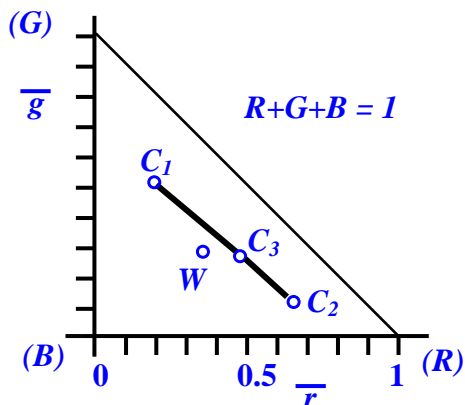
Po promítnutí do jednotkové roviny dostaneme pro jednotlivé barvy vektory

$$\bar{c}_1 = [0.2, 0.5, 0.3]^T, \quad \bar{c}_2 = [0.65, 0.15, 0.2]^T, \quad \bar{c}_3 = [0.5, 0.27, 0.23]^T.$$

Na obrázku Obr. 6.13 je znázorněn grafové zobrazení barev uvedeného příkladu.



Obr. 6.12



Obr. 6.13

6.4. Chromatický diagram

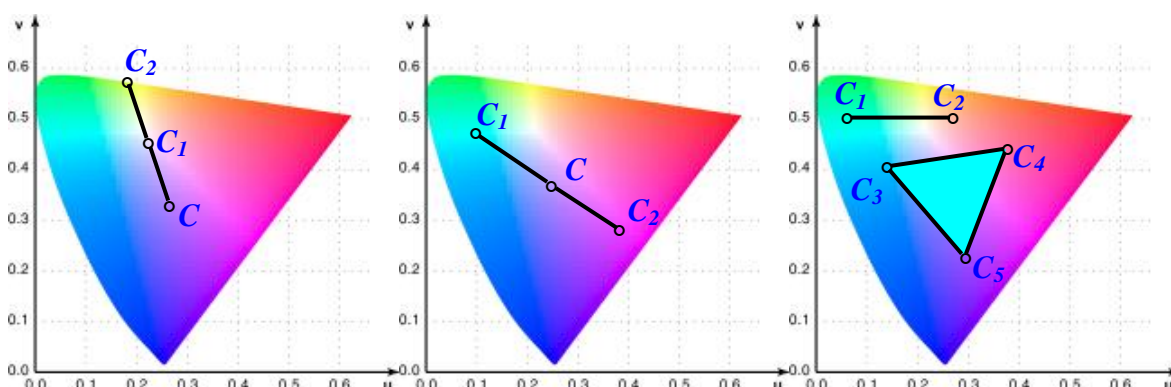
V roce 1931 byl vytvořen standard pro základní barvy. Součástí tohoto standardu je tzv. chromatický diagram CIE (Mezinárodní komise pro osvětlení - Commission Internationale l'Éclairage). Předpokládá se zde, že každá barva je definována pomocí váženého součtu tří barev. Každá barva je ve standardu určena matematicky daným množstvím základních barev potřebných pro její vytvoření. Také každá základní barva je popsána vlastní křivkou rozdělení energie.

Jak již v předcházející části bylo uvedeno vyjádříme barvu jako součet v normalizovaném tvaru

$$x = \frac{A}{A+B+C}, \quad y = \frac{B}{A+B+C}, \quad z = \frac{C}{A+B+C},$$

kde jednotlivé základní barvy jsou označeny A, B a C .

Protože platí $x + y + z = 1$, jsou kterékoli dvě složky postačující k určení barvy. Jestliže vybereme složky x a y , můžeme všechny barvy reprezentovat pomocí dvourozměrného diagramu.



Obr. 6.14

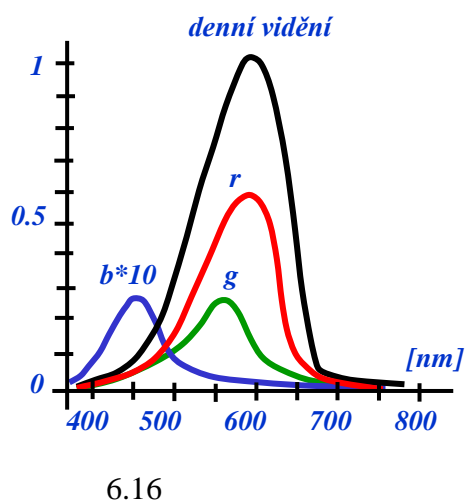
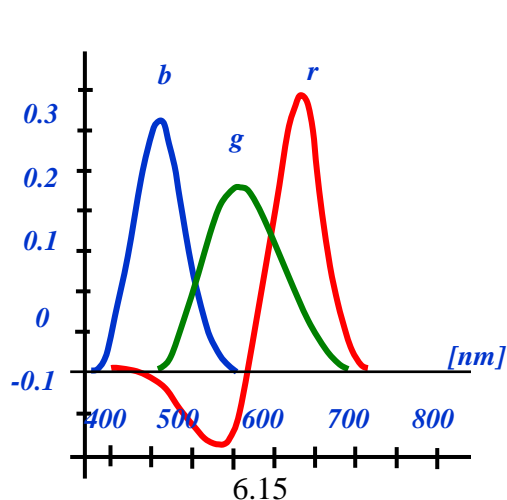
Na obrázku 6.14 křivka, která ohraničuje barvy viditelného spektra se nazývá **chromatický diagram CIE**. Barevné body tvořící obalovou spektrální křivku jsou označeny vlnovou délkou v nanometrech počínaje červenou částí spektra a konče fialovou částí spektra. Bod C v diagramu odpovídá poloze bílého světla. Je používán jako standard pro průměrné denní světlo.

Z chromatického diagramu, který poskytuje prostředky pro kvalitní určení sytosti a dominantní vlnové délky, lze odvodit další barevné veličiny a vztahy:

1. Pro libovolný bod, např. bod C_1 , definujeme **syťost** barvy jako relativní vzdálenost barevného bodu od standardního bílého světla C . Měření je prováděno tak, že bod C_1 je spojen z bodem C a úsečka CC_1 je prodloužena na obalovou křivku diagramu. Poměr vzdálenosti bodu CC_1 a CC_2 vyjádřen v procentech dává syťost barvy.
2. Dominantní vlnová délka jakékoliv barvy je definována jako vlnová délka na spektrální křivce protínající úsečku spojující bod C a příslušný barevný bod C_1 . V našem případě dominantní barvou pro bod C_1 je dominantní vlnová délka v bodě C_2 .
3. Doplňkové barvy jsou reprezentovány dvěma koncovými body úsečky, která prochází bodem C . Jestliže mají dvě doplňkové barvy stejnou syťost, vznikne jejich kombinací bílé světlo.

6.5. Systém RGB v grafech

Princip tohoto systému byl zmíněn. Nyní si tento systém připomeneme zobrazením



grafů, kde jsou na obrázku 6.15. zobrazeny průběhy jednotlivých váhových koeficientů r , g , b , jež jsou nazývány *trichromatikými spektrálními činiteli*. Hodnoty těchto složek byly získány (kolorimetrickým) měřením tak, abychom obdrželi příslušné barvy odpovídající jednotlivým vlnovým délkám ve viditelném spektru. To je v rozmezí 380 - 780 nm. Graf citlivosti jednotlivých složek barvy i denní - chromatické vidění je znázorněno na obrázku 6.16.

Z důvodů rozlišení je graf modré barvy (B - blue složka) 10 × zvětšena. Na obrázku 6.17 je zobrazen způsob měření a nastavování hodnot jednotlivých stupnic barevného spektra. Z

uvedeného grafu vyplývá, že složka r nabývá pro určitou vlnovou délku záporných hodnot. (Obr. 6.18). Již dříve bylo řečeno, že lidské oko rozliší asi 350 tisíc různých odstínů barev. Lidské oko je schopno rozlišit různé vlnové délky. Graf pro denní vidění vznikne sečtením hodnot složek r , g a b . Záporná část červené složky v denním světle je kompenzována součtem zbývajících dvou složek tříbarevného světla. Jestliže vyjedeme z předpokladu vytvoření barvy součtem jejích složek

$$c = rR + gG + bB$$

a za předpokladu vektorového vyjádření

$$\mathbf{c} = [r, g, b]^T,$$

můžeme jednotlivé složky vyjadřovat

$$r = [1, 0, 0]^T, \quad g = [0, 1, 0]^T$$

$$\text{a} \quad b = [0, 0, 1]^T.$$

Při porovnávání jasů jednotlivých barevných složek (porovnání maximální hodnot citlivosti oka na jednotlivé barevné složky) vyjdedme z poměru barev:

$$r : g : b = 1 : 1 : 1.,$$

Dostaneme poměr jasů

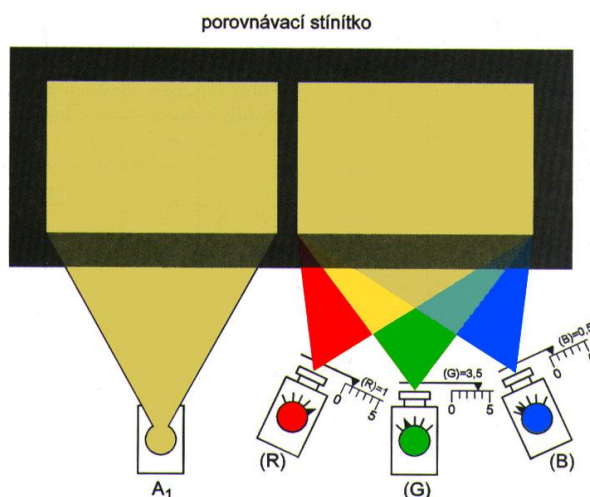
$$1 : 4.6 : 0.06.$$

Na obrázku 6.16 je graf průmětu spektra do roviny GR. Zde oblast spektra je mimo kladnou část grafu.

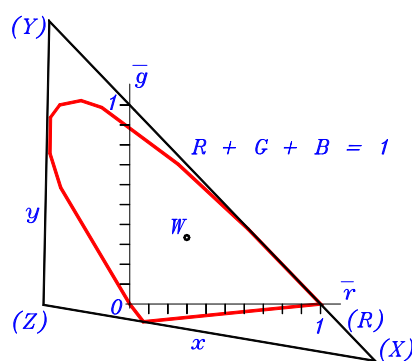
6.6. Systémy XYZ, CIE-xy, CIE-uv

Problém záporných koeficientů (Obr. 6.18)

byl vyřešen zavedením virtuálních souřadnic XYZ. Komisí CIE byl definován též převod mezi systémem RGB a systémem XYZ takto:



6.17



6. 18.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7518 & 1.302 \\ 1.000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.000 & 0.0565 & 5.943 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

Výsledný jas je dán složkou Y . Promítneme opět souřadnice XYZ na jednotkovou rovinu.

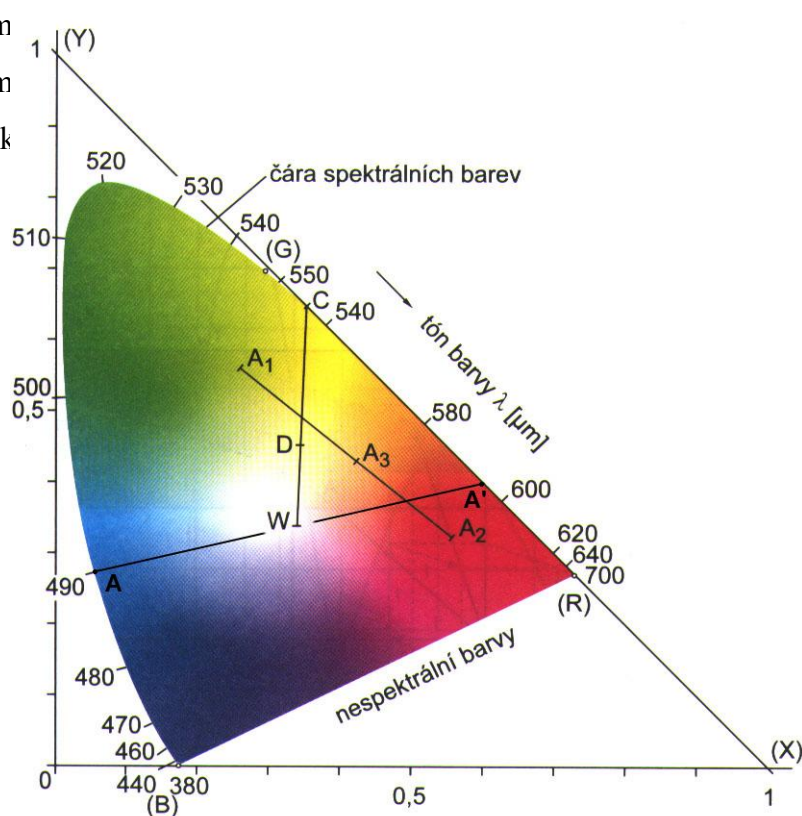
Dostaneme

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

kde platí $x + y + z = 1$.

Souřadnici z není třeba uvádět, protože $z = 1 - x - y$.

Přepočtením
dostaneme trichrom
následujícím obrázk



ému XYZ
brazena na

Obr. 6.19

Každá barva je reprezentována vektorem

$$[x, y, Y] \text{ a zpětný přepočet je dán ztáhy } X = x \cdot \frac{Y}{y}, \quad Y = y, \quad Z = (1 - x - y) \cdot \frac{Y}{y}.$$

Nositelem jasu je složka Y . Bílé tzv. izoenergetické světlo, v grafu označeno W , je definováno souřadnicemi $x = 1/3$ a $y = 1/3$.

Normalizované světlo D_{6500} odpovídající bílému světlu obrazovky má souřadnice $x = 0.313$ a $y = 0,329$.

Bílé světlo, které užívají systémy NTSC (barevné televizní vysílání užívané zejména v USA) odpovídá bodu R má souřadnice $x = 0.310$ a $y = 0.316$.

Sytost barvy je dána poměrem vzdáleností WF/WE , kde bod E reprezentuje danou barvu se sytostí 100%. Z toho plyne, že míšením barvy E s bílou barvou dostaneme tutéž barvu s menší sytostí, které odpovídá bod na spojnici WE . Tón barvy je určen náhradní vlnovou délkou barvy F , která je určena průsečíkem polopřímky WF a čáry spektrálních barev. Vlnovou délku můžeme odečíst z diagramu CIE-xy. (Obr.6.17)

Pro míchání dvou barev reprezentované vektory

$$c_1 = [x_1, y_1, Y_1]^T, \quad c_2 = [x_2, y_2, Y_2]^T$$

v systému CIE vznikne barva, která je dána vektorem

$$c_2 = [x_2, y_2, Y_2]^T$$

pro něž platí

$$x_3 = \frac{x_1 T_1 + x_2 T_2}{T_1 + T_2}, \quad y_3 = \frac{y_1 T_1 + y_2 T_2}{T_1 + T_2},$$

kde

$$T_1 = \frac{Y_1}{y_1}, \quad T_2 = \frac{Y_2}{y_2}, \quad Y_3 = Y_1 + Y_2$$

Při míchání více barev lze postupovat tak, že uvedený postup opakujeme pro zbývající barvy, ať jde o původní, nebo vzniklé smícháním ostatních barev. Následující obrázek 6.17 zobrazuje diagram systému CIE-xy.(Grassmanův zákon.)

V systému XYZ i v trojúhelníku CIE-xy neodpovídají stejné lineární vzdálenosti v různých místech prostoru nebo trojúhelníku stejným subjektivně vnímaným rozdílům barvy a naopak. Byl tedy v roce 1960 zaveden systém CIE.uv a v roce 1964 systém CIE-UVW, kde v celém prostoru nebo v rovině stejně subjektivně vnímaným rozdílům vjemů barvy odpovídají přibližně stejné vzdálenosti. Diagram systému CIE-uv (v literatuře uváděný jako CIE Uniform Color Space) je zobrazen na obrázku 6.19.

Převodní vztahy systému CIE-UVW jsou:

$$W = 25 \cdot y^{1/3} - 17 \quad , \quad U = 13 \cdot W(u' - u'_w) \quad , \quad V = 13 \cdot W(v' - v'_w)$$

kde u'_w , v'_w jsou hodnoty u' , v' pro smluvní bílé světlo.

Pro převod ze systému XYZ byly definovány vztahy

$$u' = \frac{4x}{X + 15Y + 3Z} \quad , \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \quad .$$

Pro převod z trichromatických barev souřadnic CIE-xy pak platí převodní vztahy:

$$u' = \frac{4x}{2x + 12y + 3} \quad , \quad v' = \frac{9Y}{-2x + 12y + 3} \quad .$$

Diagram pro systém CIE-uv je definován v souřadnicích u' a v' .

6.7. Systém CMY(K)

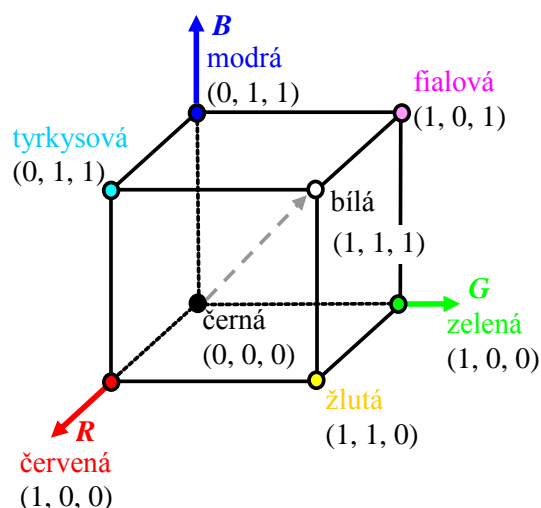
Systém CMY - modrozelená (C-Cyan),

- purpurová (M-Magenta),

- žlutá (Y-Yellow).

Porovnáme-li systém RGB a systém CMY, jde v zásadě o opačný systém. V RGB součtem základních barev dostaneme barvu bílou (W-White), u CMY součtem základních barev dostaneme barvu černou (Bl-Black).

Z uvedeného plyne, že tento systém je vhodný pro barevné přetisky. Nanášíme na světlé pozadí postupně barvy.



Obr. 6.20

Mezi systémy **CMY** a **RGB** je vztah:

$$\begin{bmatrix} c \\ m \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad .$$

Jak již bylo uvedeno, vektor $[1,1,1]^T$ v systému RGB reprezentuje barvu bílou. Pro opačný vztah **RGB** a **CMY** platí:

$$\begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c \\ m \\ y \end{bmatrix}$$

a vektor $[1,1,1]^T$ v systému **CMY** reprezentuje barvu černou.

Často je používán systém **CMYK**. Jde o přidání černé složky - samostatně. Technicky je totiž velice obtížné namíchat černou barvu složením tří základních barev systému **CMY**. Obtížnost vytvoření přirozené - přírodní barvy na počítači je dána tím, že počítačem dovedeme vytvořit konečný počet barevných kombinací. V přírodě však takové omezení není.

6.8. Systém YIQ

Pro televizní vysílání je používán systém **YIQ** zavedený NTSC (National Television Standart Commitee) v roce 1953.

Hodnota složky *Y* obsahuje informaci o sytosti barevného odstínu a je černobílým televizním přijímačem přijímána. Složka *I* nese informaci o odstínu barvy v rozmezí mezi oranžovou a modrozelenou. Složka *Q* poskytuje informaci o odstínu barev mezi zelenou a purpurovou.

Převodní vztahy mezi **RGB** a **YIQ** jsou

$$\begin{bmatrix} y \\ i \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.322 \\ 0.211 & -0.522 & 0.311 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

a

$$\begin{bmatrix} r \\ b \\ g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.956 & 0.114 \\ 1.000 & -0.272 & -0.648 \\ 1.000 & -1.105 & 1.705 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y \\ i \\ q \end{bmatrix}.$$

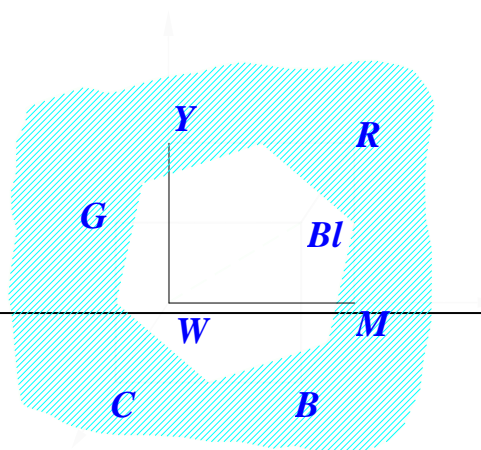
Systém byl použit zejména pro zajištění kompatibility barevných a černobílých televizorů. Byl tady definován i převod barevných odstínů pro případ výstupu na černobílý displej. Zde bylo možno zobrazit jen různé úrovně šedi a jas je určen složkou *y* v systému **YIQ**:

$$y = [0.299, 0.587, 0.114] \cdot [r, g, b]^T.$$

Pokud je počet úrovní omezen, je nutno určit pro příslušný počet úrovní šedi příslušné subintervaly.

6.9. Systémy **HLS** a **HSV**

Dosud uvedené systémy vycházejí z potřeb na výstupní zařízení. Určovat barvy resp. jejich odstíny skládáním základních barev je pro běžného uživatele obtížné a proto byly vyvinuty



systemy, které se k uživateli chovají přátelštěji. Systémy mají taktěž tři složky.

A to: - **barevný tón** (**Hue**-označuje se písmenem H),

- **syťost** barvy (**Saturation** - S),

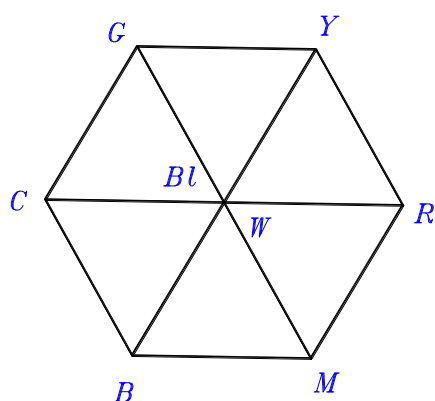
- **jas** (**V**-Value popř. **L**-Lightness).

Bývá označováno jako světlost/tmanost;

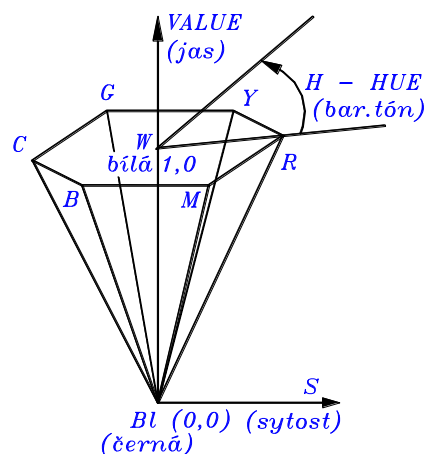
Modely systémů jsou na obrázcích 6.22 a 6.23.

Sytém HSV (Hue, Saturation, Value) je založen na principu, že hexagon barev vzniká promítnutím základních barev na rovinu kolmou k tělesové úhlopříčce spojující černou a bílou barvu v krychli RGB. Na obrázku 6.21 je zobrazena rovina WBl , do které promítneme ve směru tělesové úhlopříčky WBl vrcholy jednotkové krychle tvořící jednotlivé barevné vrcholy.

Průmět je zobrazen na obrázku 6.22.



6.22

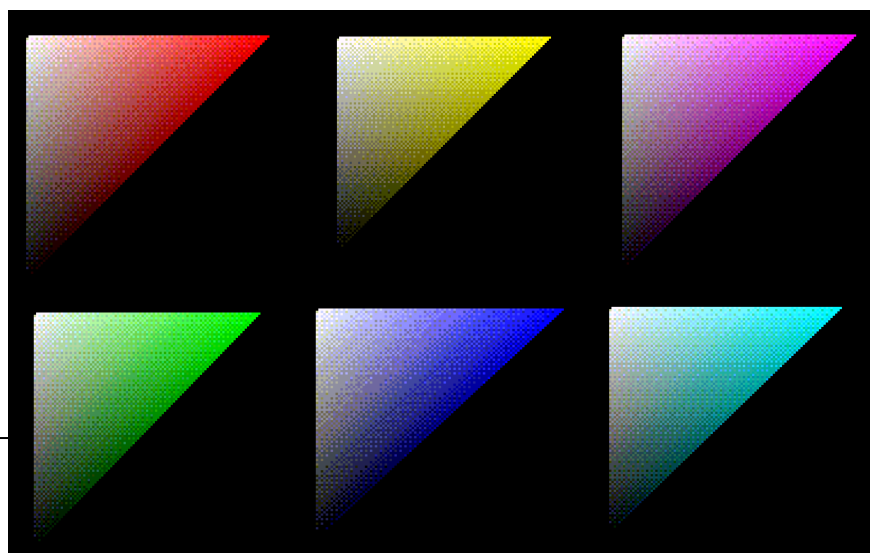


Obr. 6.23

Model je zobrazován jako šestiboký jehlan,

kde ve vrcholu Bl je barva černá a ve středu W podstavy je barva bílá Obr. 6.23. Na obrázku

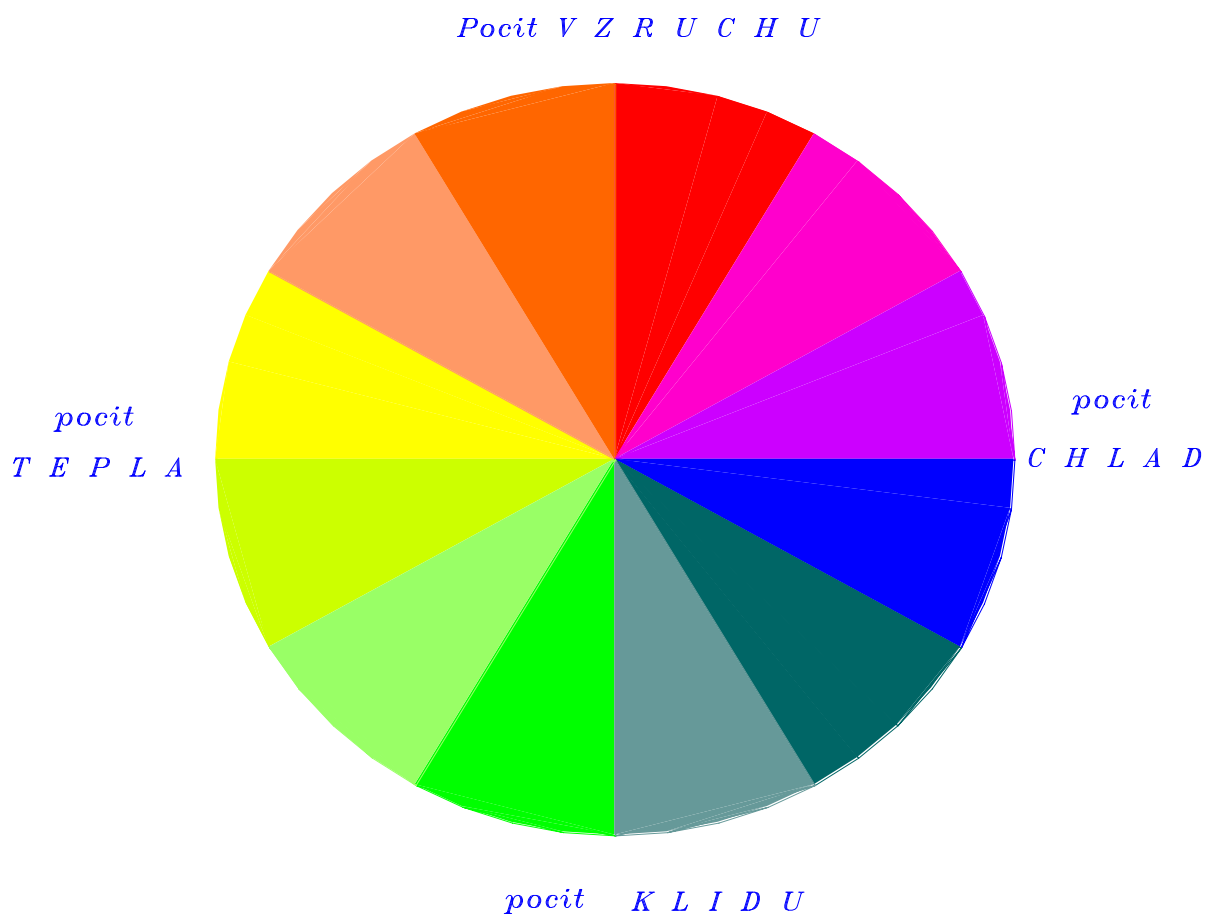
6.24 jsou zobrazeny jednotlivé řezy jehlanem rovinou, která prochází osou jehlanu a jedním vrcholem zobrazující barvu.



Obr. 6.24

6.10. Význam barev z hlediska ergonomie

Tvůrci počítačových systémů musí brát na zřetel vlastnosti působení barev na lidský organismus. Pokud tomu tak není a z obrazovky vyzařují kontrastní a nevhodné kombinace barev, jsou na psychiku uživatele kladeny daleko větší nároky.



Obr. 6.25

Na obrázku 6.25 je rozložení barevného spektra podle působení na psychologii člověka. Pocit vzruchu podporují prvky červeného spektra. Pocity klidu podporují barvy odstínu zelené. Pocity tepla – žluté odstíny. Pocity chladu podporují modré odstíny. V následující části je uvedeno v tabulce, jak působí barvy na člověka citově, psychologicky, fyziologicky. A také tradiční pověsti působení barev.

Barva	Citový	Psychologický	Fyziologický	Tradiční
bílá	jas, světlo, neurčitost, prázdnota	střízlivost, svoboda, vztahů ztráta viny	snížení, hmotnosti, blízkost, monotónnost	čistota, věčnost, hygiena, řád
černá	temnota, noc, smrt, tajemství, síla	smutek, deprese, bída konec	hmotnost, menší tvar, odpočinek	zlo, ničení, prázdnota, choroba, dokonalost, snobismus
šedá	šero, uvolnění, skrytost	beznaděj, deprese, izolace	nečistota, nejistota, obavy	neurčitost, chudoba, průměrnost
červená	síla, vzrušení, krev, neštěstí	pohyb, aktivita, teplo hlučnost	aktivizace, napětí, zvýšení tepu a dechu	životnost, činnost, boj, láska, vášeň, revoluce
modrá	prostor, dálka, voda,	touha, snění vlhkost, studenost	pasivní, volnost, klid, koncentrace, snižuje hluk	mír, oddech, svoboda, moudrost, vážnost
žlutá	slunce, veselost	dráždivost, přitažlivost	povzbuzení, aktivita, zvyšuje hluk	štěstí, hojnost, věda, odpovědnost
zelená	příroda, mládí, naděje, pošetilost	rovnováha, jistota, osvěžení bezpečí, klid	vyváženost, oddech, chlad	pasivita, trpělivost, naděje, růst
oranžová	oheň, žár, aktivita	výraznost, zářivost, teplo	zdraví, sdílnost, vzruch	ctízádnost, boj, radost, bohatství, slavnost
hnědá	uzavřenost, houževnatost	vážnost, země, klid, pevnost, hmotnost	útlum, klid	solidnost, reálnost, domov
purpurová	tajemství, nádhera, vznešenost	melancholie, pohádka, řád, jemnost	uklidnění, ticho	vážnost, uspokojení, důstojnost
fialová	smutek, pasivita, nádhera	mystika, magika, hloubka	klid, rovnováha	smutek, trest, naděje, závist

Vlastnosti působení barev na lidský organismus je nutno brát na zřetel při tvorbě počítačových systémů. Je nutné volit takové barevné seskupení, které nebude uživatele rušit. Příliš syté a ostré barvy uživatele, který delší dobu pracuje s obrazovkou velice unaví. Velice důležitá je kombinace podkladové barvy textu s barvou textu. Na obrázku Obr. 6.26 jsou uvedeny příklady nevhodné kombinace barev.



Obr.6.26

Působení barev na monitoru

V ergonomii použití monitoru hraje roli několik faktorů: jeho poloha ovlivňuje polohu těla při práci s ním, spolu s optickými vlastnostmi ovlivňuje značně zátěž očí a sekundárně i např. krevní tlak, a konečně koncentrace iontů kolem obrazovky může vyvolávat alergické reakce kůže a vznik kožních problémů.

Z hlediska fyzického umístění by monitor měl být zhruba 50-70 cm od očí, 15°-20° pod úroveň očí (horní část monitoru může být velmi zhruba ve výšce očí). Pro minimalizaci nadměrné zátěže očí při práci s monitorem je nutné volit režimy zobrazení, které mají dostatečnou frekvenci obnovy obrazu, tj. vertikální frekvenci alespoň 70Hz (u levnějších monitorů to může znamenat nutnost vyvarovat se grafických režimů s velkým rozlišením). Pro dosažení maximální optické pohody při práci s obrazovkou můžeme použít následující doporučení:

- jedna z nejméně vhodných barevných kombinací je primární barva modrá zobrazená na temném pozadí,
- jasnost pozadí by měla být ztlumena natolik, že není možné rozeznat rastr obrazovky,
- velikost zobrazeného písma by měla být co největší - studie z roku 1989 ukázaly, že používání menšího typu písma vede ke zvýšení krevního tlaku a vyšší úrovni stresování uživatelů,
- není vhodné používat příliš temné pozadí na obrazovce, protože kontrast mezi úrovní jasu obrazovky a dalších pracovních ploch v zorném poli uživatele (zejména např. bílého papíru) může způsobovat potíže při čtení písemných dokumentů, se kterými pracujeme - minimální úroveň jasu pozadí na obrazovce by měla být 300-500luxů,
- celkový charakter osvětlení pracovního místa by měl zamezit odrazu na obrazovce nebo jasných plochách kolem ní, což může vést k oslnění - vhodné je použití antireflexních filtrů,
- pro sezení před obrazovkou není vhodná poloha proti oknu ani zády k němu,
- nejvhodnější je nepřímé osvětlení, při kterém dochází k nasvětlení stropu a odrazu světla od něho (není-li výška stropu menší než 2,5m); není-li možné tento způsob osvětlení použít, musejí být všechna světla opatřena alespoň členy, které světlo rovnoměrně rozptylují,

- nábytek a stěny místnosti musejí být z málo odrazivých materiálů zamezujících vzniku odlesků a odrazů, okna je nutno osadit regulovatelnými stínidly (žaluziemi) umožňujícími upravovat množství světla přicházejícího zvenku.



Kontrolní otázky 6.

1. Vysvětlete pojmy jas, světlost, sytost barev.
2. Vysvětlete pojmy: chromatické, achromatické světlo.
3. Vysvětlete systém RGB, CMY(K) barev v počítačové grafice.
Význam systémů a jejich použití.
4. Půltónování, resp.rozmývání barev.
5. Systémy HSV, CIE. Význam systémů a jejich použití.
6. Popište vliv barev na psychologii člověka z hlediska monitoru počítače.