

Spracovanie farebného obrazu

Zuzana Černeková
cernekova@sccg.sk

miestnosť I3

Sylabus

Kolorimetria, základné pojmy

Systémy farieb a ich súvislosť

Kvantovanie farieb, určovanie palety

Farebná morfológia

Hľadanie hrán

Segmentácia a úprava farebného obrazu

Požiadavky na hodnotenie

- 40 bodov na cvičeniach
(20b z cvičení treba ku skúške)
- 60 bodov na písomnej skúške
(30b treba na úspešné absolvovanie skúšky)

body	známka
91 - 100	A
81 - 90	B
71 - 80	C
61 - 70	D
50 - 60	E

Užitočné linky

<http://www.it.uu.se/edu/course/homepage/bild1/V04/links.html>

<http://www.efg2.com/Lab/Library/ImageProcessing/index.html>

<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/CVentry.htm>

<http://www.icaen.uiowa.edu/~dip/LECTURE/contents.html>

<http://www-2.cs.cmu.edu/afs/cs/project/cil/ftp/html/v-pubs.html>

slovensky: <http://pg.netgraphics.sk/>

Literatúra:

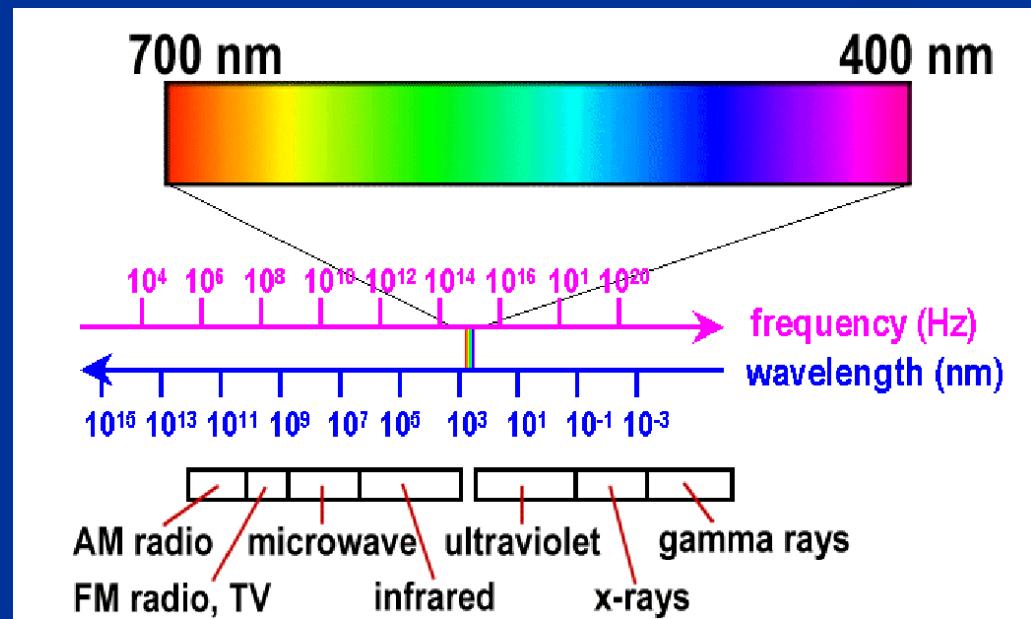
- A. Koschan, M. Abidi: **Digital Color Image Processing**, Wiley&sons 2008
- K. N. Plataniotis, A. N. Venetsanopoulos: **Color Image Processing and Applications**, Springer 2000
- **Digital Color Imaging Handbook**, Ed. Gaurav Sharma, CRC PRESS LLC, 2003
- R. Lukáč, K. N. Plataniotis: **Color Image Processing – Methods and Applications**, CRC Press 2007
- Pavol Horňák: **Svetelná technika**, ALFA 1989
- William K. Pratt: **Digital Image Processing: PIKS Inside**, John Wiley & Sons, Inc., 2001
- Gonzalez, C. R., Woods, E. R.: **Digital Image Processing**, Addison - Wesley, London, 1992

Svetlo a farba

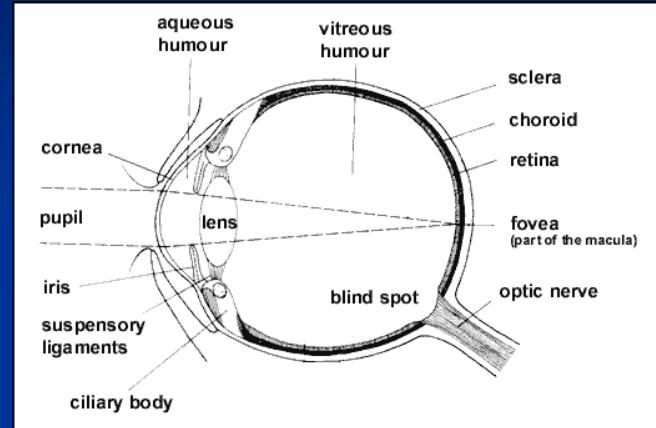
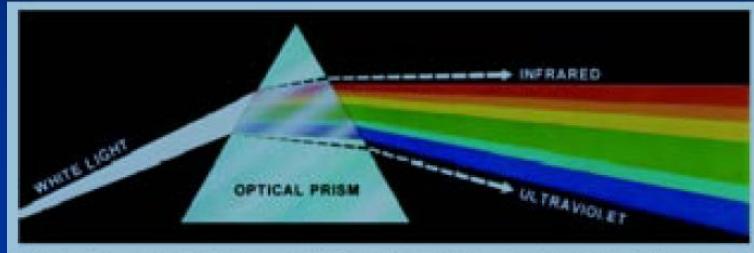
Svetlo a farba

- Elektrické vlnenie
- Svetlo – viditeľná časť spektra
- Čisté farby zodpovedajú jednotlivým vlnovým dĺžkam

Farba objektu je daná spektrom dopadajúceho svetla a svetlom absorbovaným a/alebo odrazeným (vlastnosťami objektu)

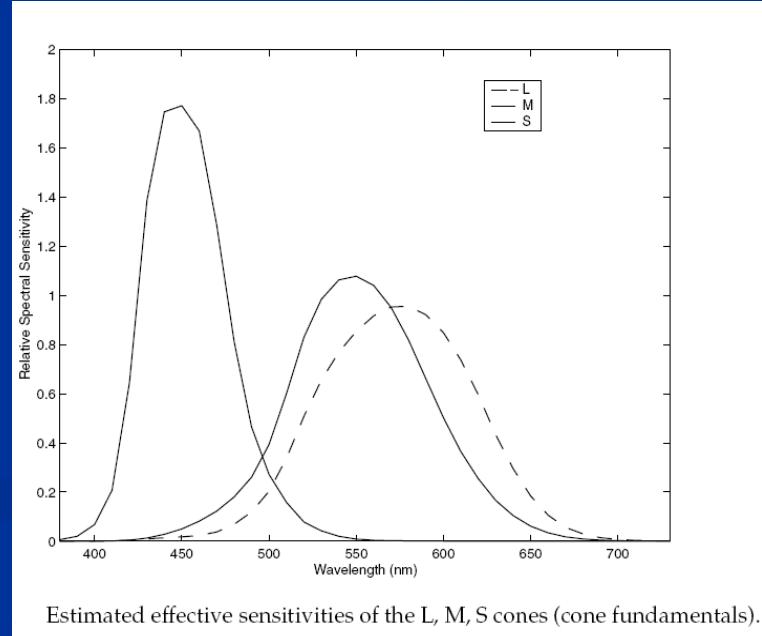


Zrak a videnie



Na sietnici oka

- Tyčinky – videnie za šera
- Čapíky – farebné videnie
 - 3 typy čapíkov citlivé na
 - dlhé (L)
 - stredné (M) a
 - krátke (S) vlny



Intenzita svetla

- Intenzita je vážená funkcia r, g, b hodnôt.
- Ľudské oko nedáva všetkým komponentom r, g, b rovnaké váhy

$$\text{intensity} = 0.299 * \text{Red} + 0.587 * \text{Green} + 0.144 * \text{Blue}$$

- Predpokladajme, že máme 3 zdroje svetla s rovnakou intenzitou ale rôznymi farbami červenou, zelenou a modrou
- Zelena sa bude zdať najsvetlejšia, potom červená a modrá

Popis farby

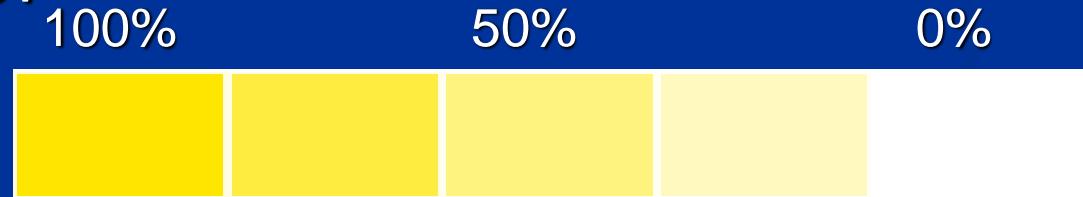
■ Trojica

Hue = odtieň



V priemere dokáže ľudské oko rozpoznať ~200 rôznych odtieňov

Saturation = sýtosť



(pastelové farby ... nenasýtené)

Ružová má taký istý odtieň ako **červená**, ale je menej saturovaná

Luminance (brightness) = jas, intenzita

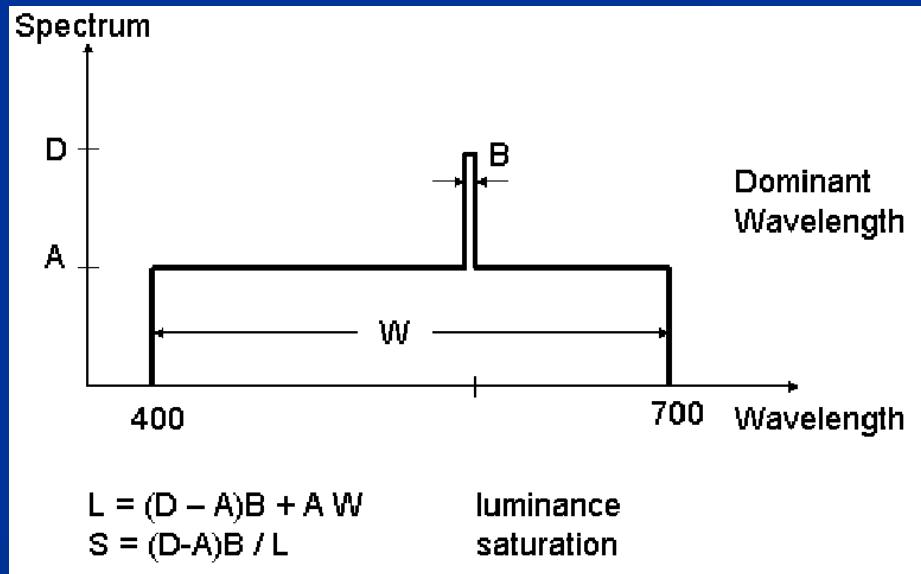
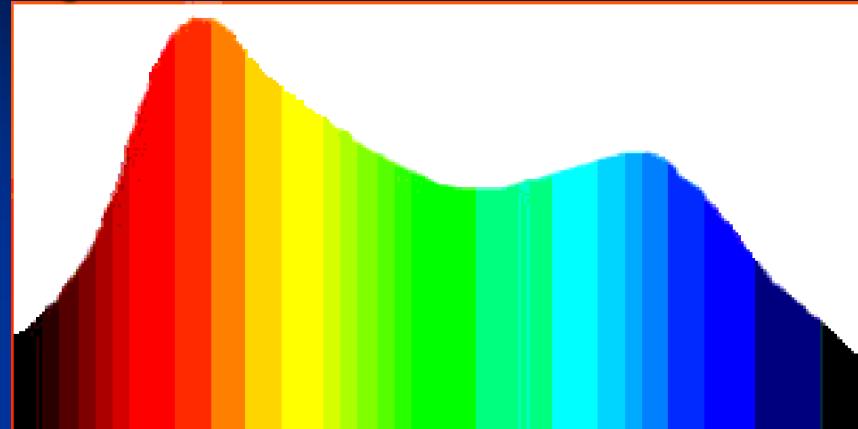


Spectral density functions

Spektrograf
 $s(\lambda)$ – spektrálna krivka

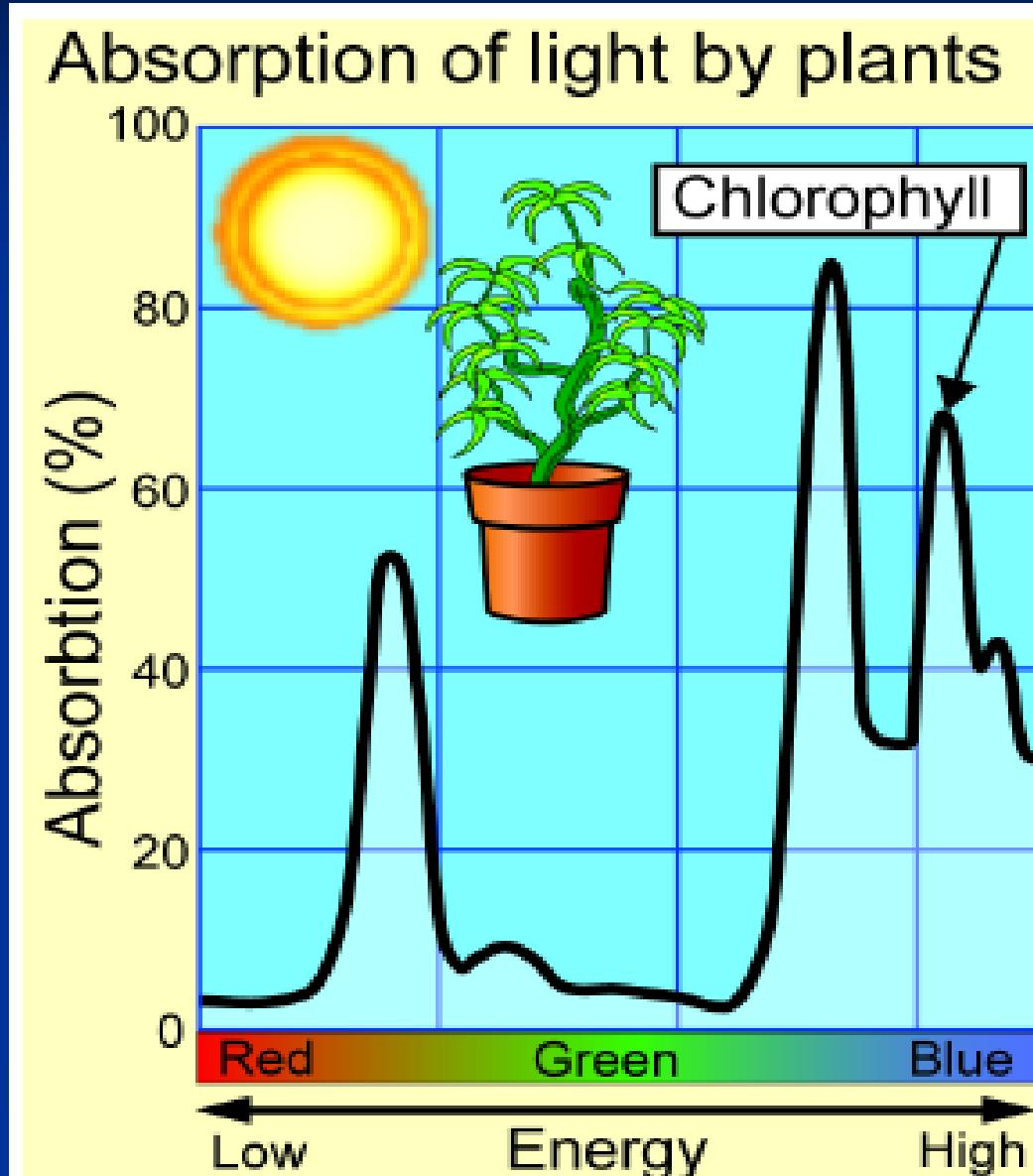
pomocou dominantnej
vlnovej dĺžky

Odtieň je určený
vlnovou dĺžkou
Ak $A=D \Rightarrow$
bezfarebné svetlo



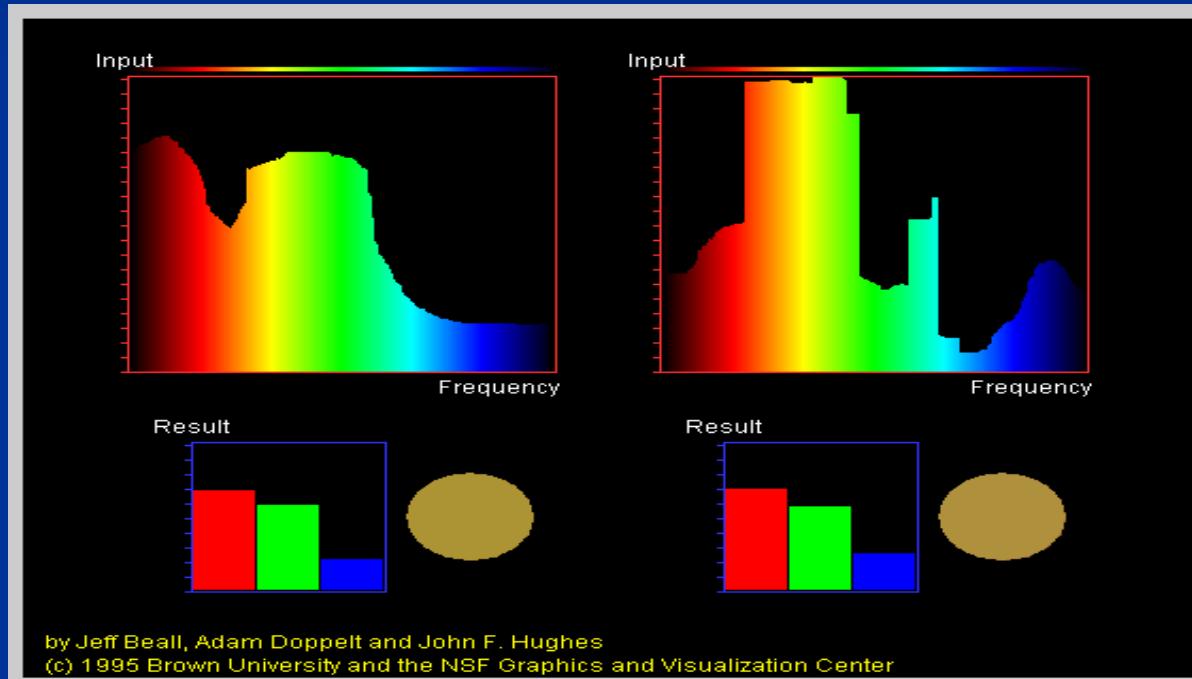
Prečo sú rastliny zelené?

- Rastliny absorbujú energiu zo svetla a premieňajú ju na chemickú energiu vo forme cukrov
- **Chlorofyl** je doležitý v tomto procese. Absorbuje vlnové dĺžky zodpovedajúce **modrej a červenej farbe**



Metamer

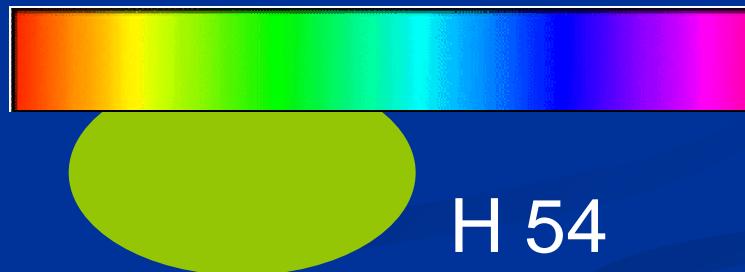
- Spektrálne rôzne farby ale ľudským okom nerozlišiteľné



<http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/home.html>

Color matching

Priame určovanie hodnôt H, S, L je nevhodné pre „color matching“ = určovanie rovnakých farebných vnemov



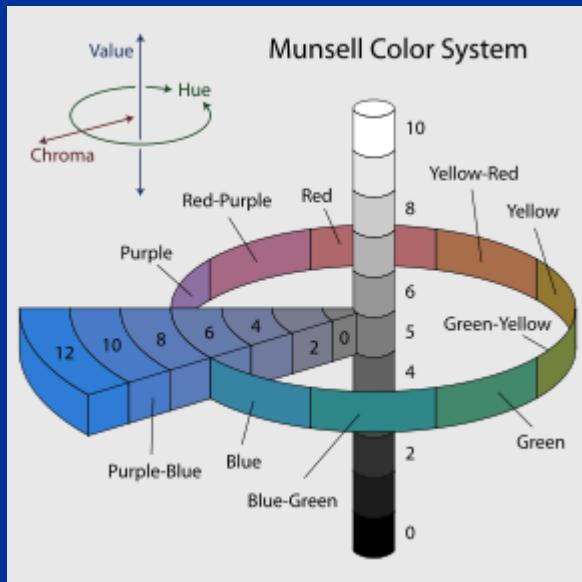
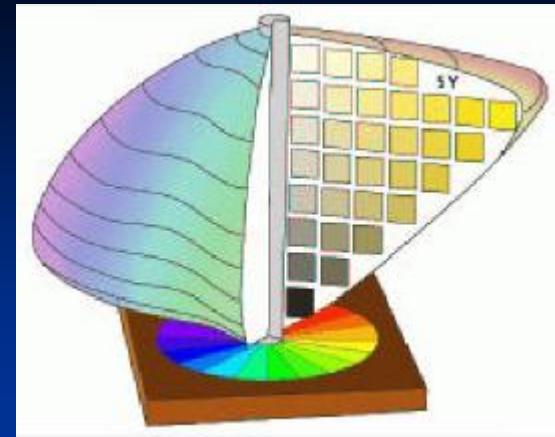
H 54
S 240 /255
L 102

Potrebuje iný popis farby

Porovnanie s atlasom farieb

Munsellov atlas

- Vytvorený Albertom H. Munsellom na začiatku 20. storočia
- Reprezentuje farbu v 3 dimenziách
- Ako prvý oddelil hue (odtieň), value (hodnotu) a chroma (saturácia) do vnemovo uniformných a nezávislých dimenzií

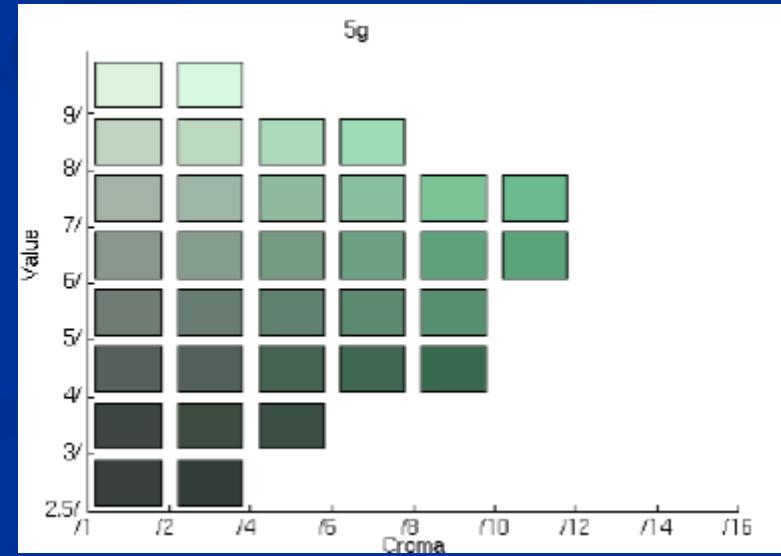
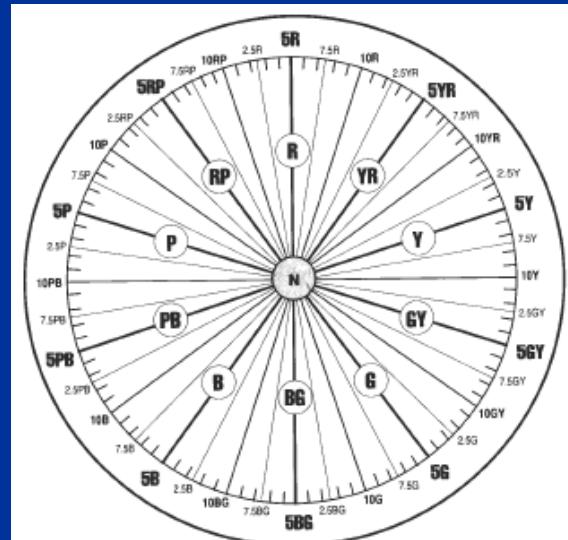
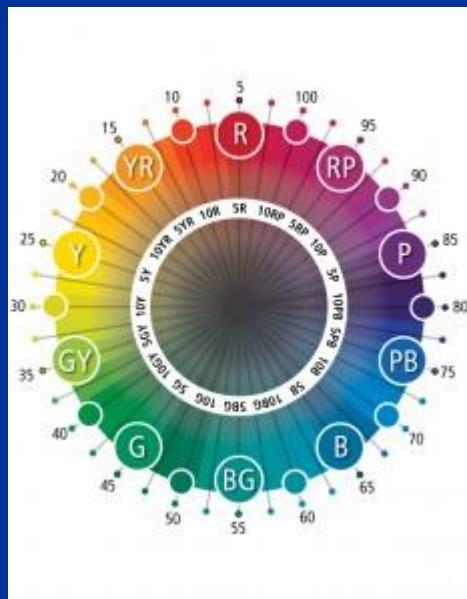


Munsellov atlas

Hue: Red, Yellow-Red, Yellow, Green-Yellow, Green, Blue-Green, Blue, Purple-Blue, Purple, Red-Purple

Value: 0 ... 10 (tmavá ... biela)

Chroma: 0 ... 20 (neutrálna ... satureovaná)



Macbeth ColorChecker

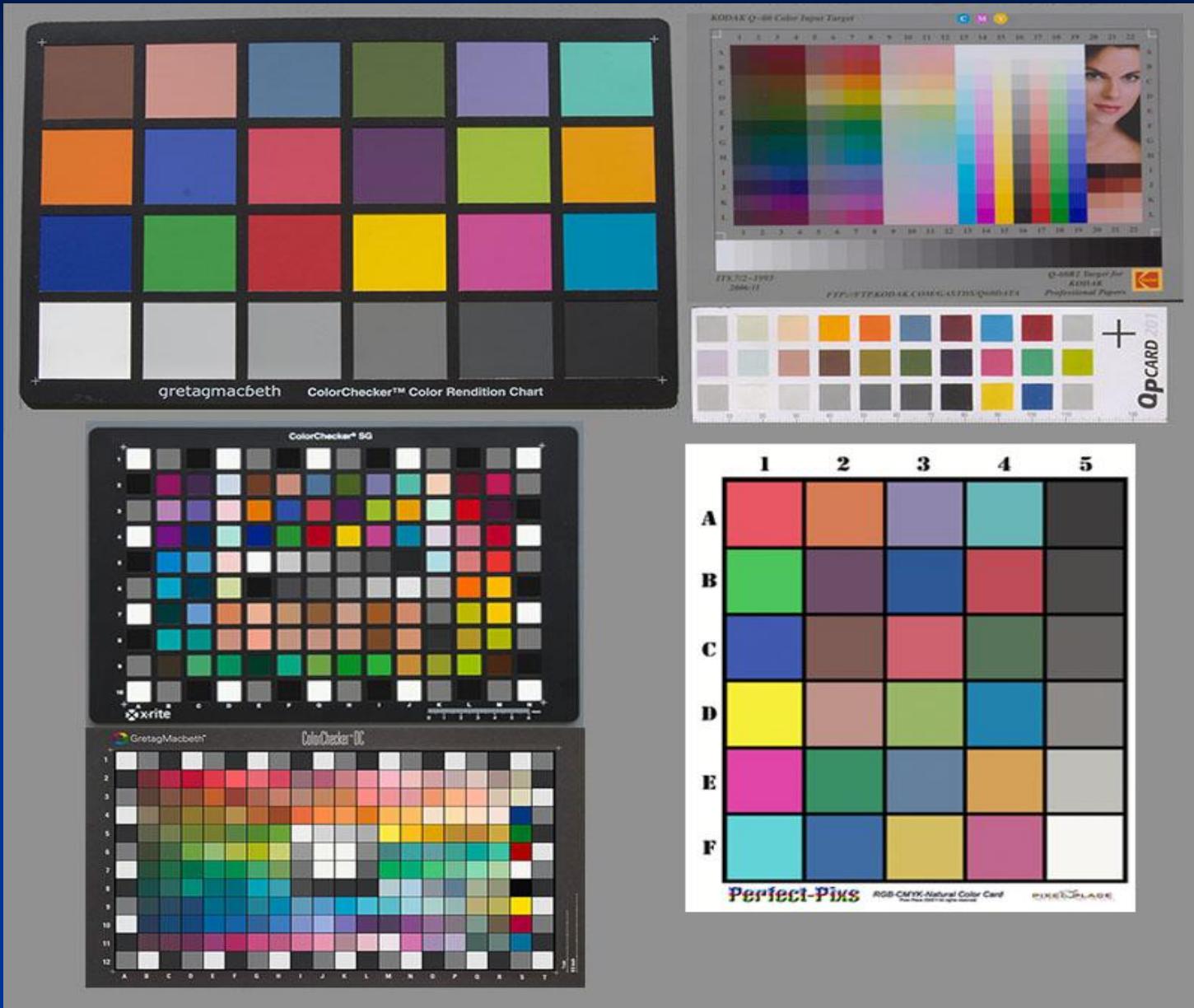
- Na kalibráciu systémov spracovania farebného obrazu
- 24 matných farieb



3YR 3.7/3.2 Dark Skin	2.2YR 6.47/4.1 Light Skin	4.3PB 4.95/5.5 Blue Sky	6.7GY 4.2/4.1 Foliage	9.7PB 5.4/6.7 Blue Flower	2.5BG 7/6 Bluish Green
5YR 6/11 Orange	7.5PB 4/10 Purplish Blue	2.5R 5/10 Moderate Red	5P 3/7 Purple	5GY 7.1/9.1 Yellow Green	10YR 7/10 Orange Yellow
7.5PB 2.9/12.7 Blue	0.25G 5.4/8.65 Green	5R 4/12 Red	5Y 8/11.1 Yellow	2.5RP 5/12 Magenta	5B 5.08/8.0 Cyan
N 9.5/ White	N 8/ Gray	N 6.5/ Gray	N 5/ Gray	N 3.5/ Gray	N 2/ Black

Table 3.2. The color or gray-level denotations and the Munsell denotations for the corresponding standardized color patches of the Macbeth ColorChecker.

Iné množiny farieb – výrobcovia foto potrieb

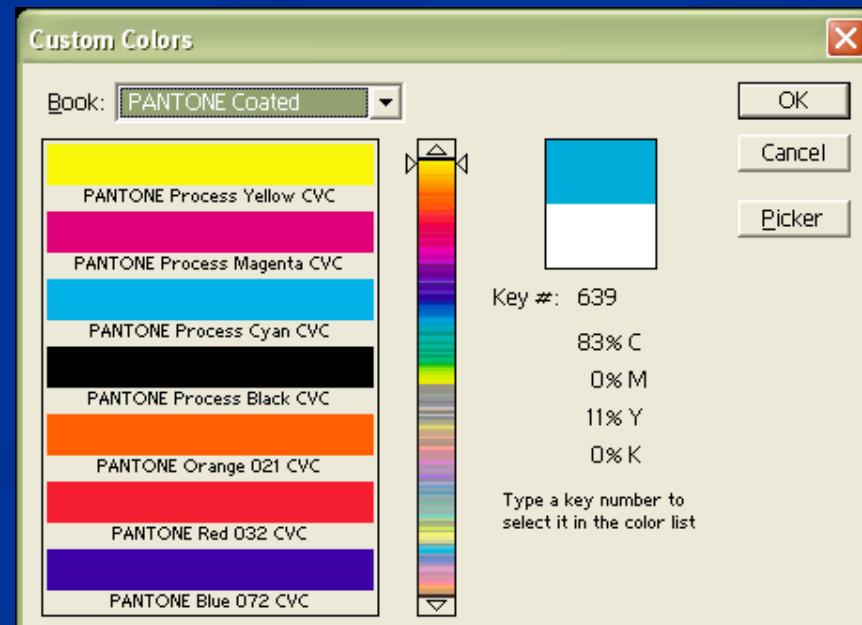


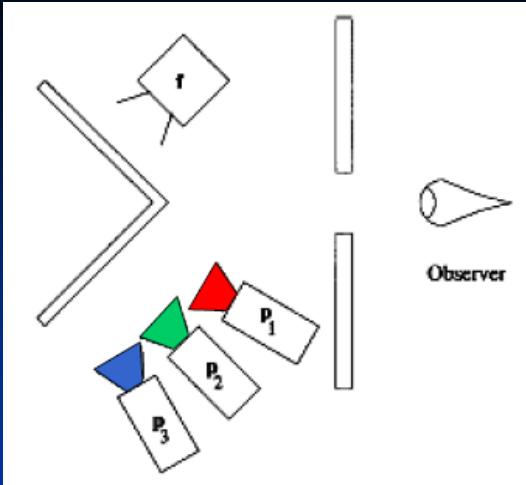
Pantone Matching System

Každá farba má daný presný postup, podľa ktorého ju môžeme namiešať zo základných farieb.

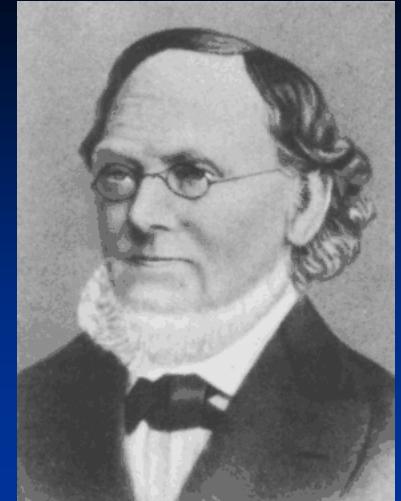


Ďalšie systémy
TRUMATCH,
FOCOLTONE,
TOYO Color Finder 1050,
ANPA-COLOR,
DIC Color Guide, ...





Aditívne skladanie farieb



Grassmannov experiment (1853)

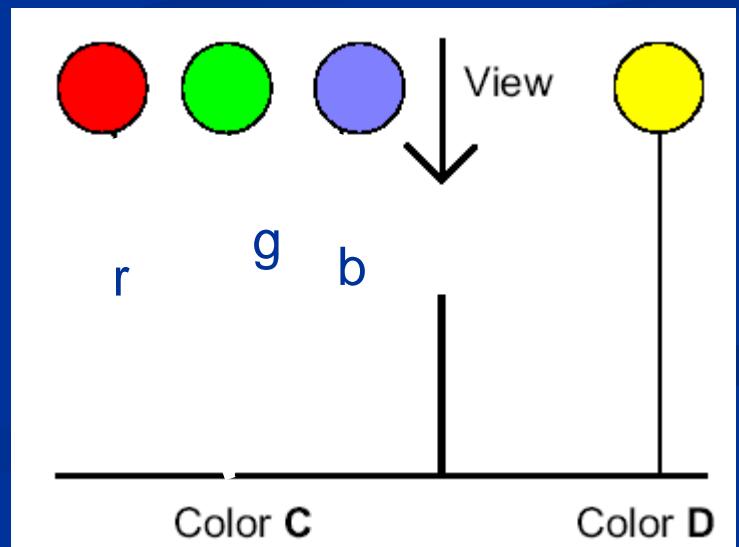
červená (R), zelená (G), modrá (B) – primárne farby

neznáma farba D

váhy r, g, b = 0...100 (%)

výsledná farba

$$C = r R + g G + b B$$

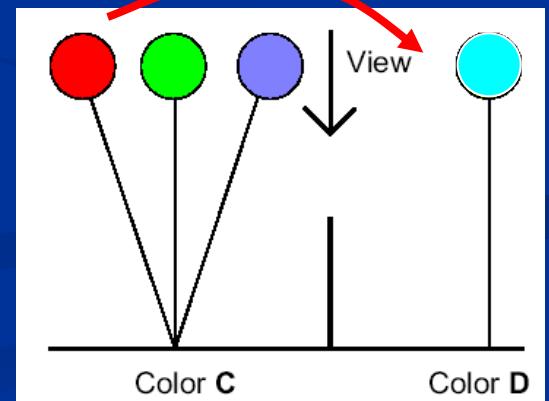
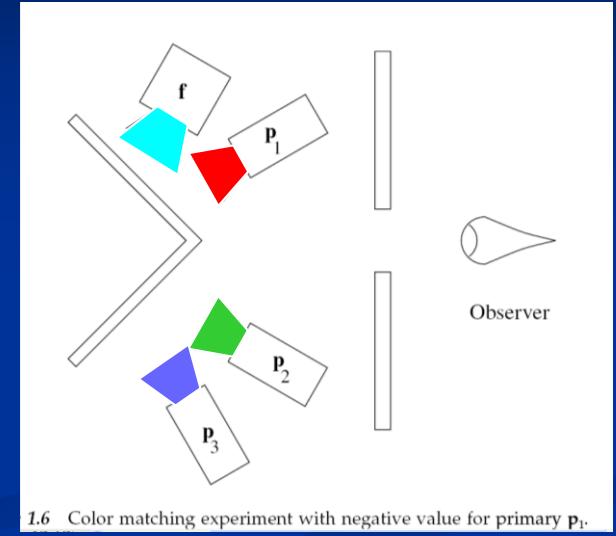


Aditívne skladanie farieb

- Dá sa úpravou r , g a b nájsť farba C zodpovedajúca (vyzerajúca rovnako) farbe D vždy?
- Pre niektoré farby áno
 $\text{Žltá} = 10 \text{ R} + 11 \text{ G} + 1 \text{ B}$
- Pre iné farby musíme jednu zo základných farieb presunúť doprava a porovnávať nepriamo

$$\begin{aligned}\text{Modrozelená} + 5 \text{ R} &= & 5 \text{ G} + 6 \text{ B} \\ \text{Modrozelená} &= -5 \text{ R} + 5 \text{ G} + 6 \text{ B}\end{aligned}$$

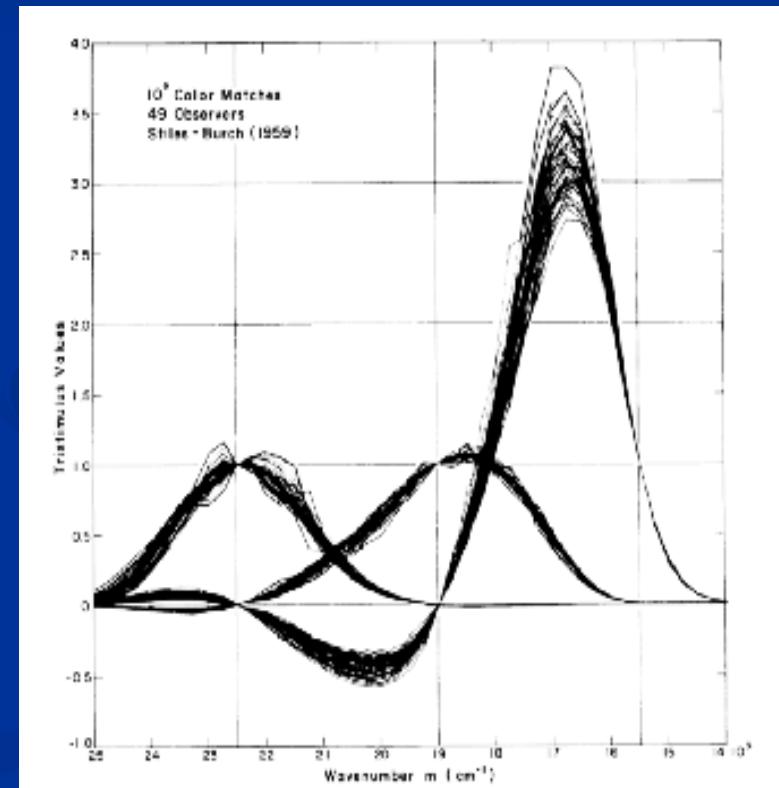
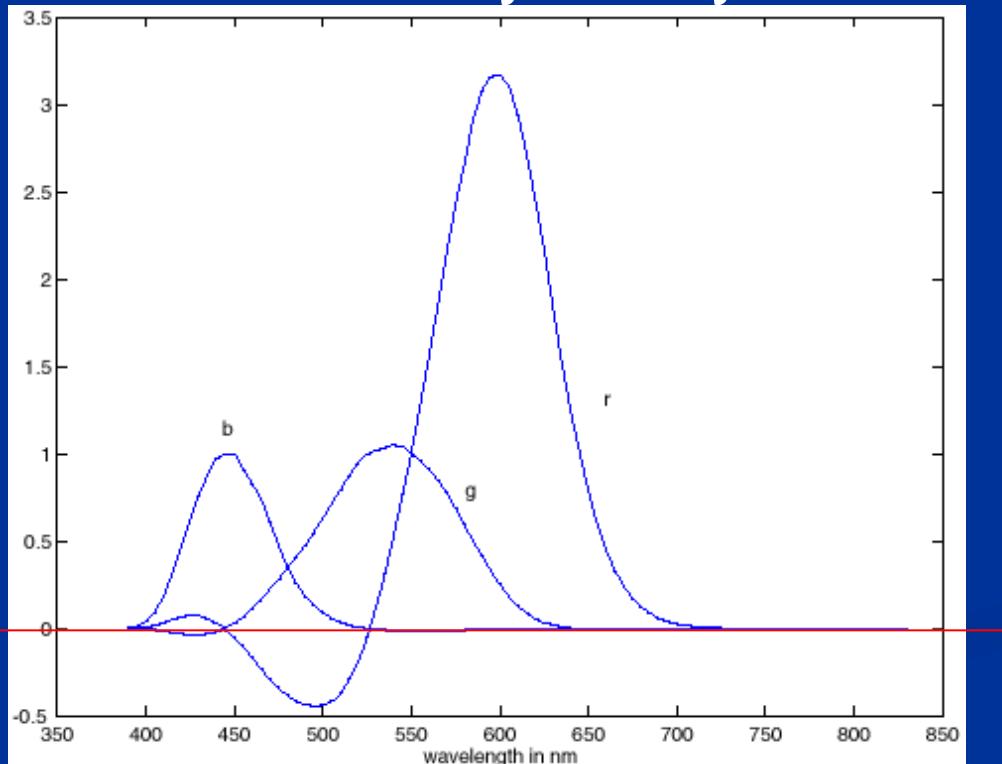
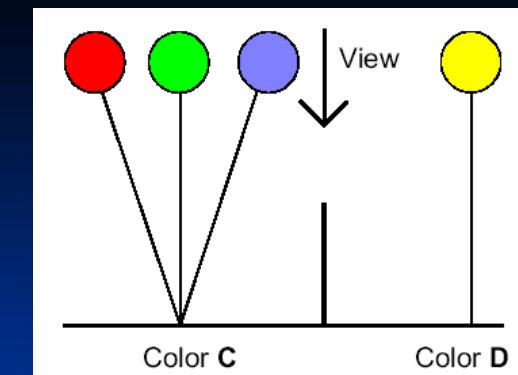
Váhy môžu byť záporné!



Aditívne skladanie farieb

R = 700nm, G = 546nm, B = 436nm

Pokusy na mnohých subjektoch priniesli nasledovné výsledky:



Aditívne skladanie farieb

Funkcie $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$ určujú množstvo R, G, B na dosiahnutie 100% saturovanej farby s dominantnou vlnovou dĺžkou λ (ozn. $\text{mono}(\lambda)$)

$$\text{mono}(\lambda) = r(\lambda)R + g(\lambda)G + b(\lambda)B$$

používajú sa škálované hodnoty:

$$\bar{a}(\lambda) = \frac{a(\lambda)}{r(\lambda) + g(\lambda) + b(\lambda)}, \{ \text{pre } a = r, g, b \}$$

Potom $\bar{r}(\lambda) + \bar{g}(\lambda) + \bar{b}(\lambda) = 1$

CIE - *Commission internationale de l'éclairage* Medzinárodná komisia pre svetlo

Nová trojica primárnych farieb X, Y, Z

Lineárnej transformácii z RGB

- všetky farby sa dajú vyrobiť pozitívou kombináciou X, Y, Z
- nereálne, supersaturované ($> 100\%$)
- Y zodpovedá intenzite L

CIE definuje standard (colorimetric) observer

– chromatic response of the average human viewing through a 2° angle

CIE 1931 Standard Observer, alebo aj *CIE 1931 2° Standard Observer*

Neskôr *CIE 1964 10° Standard Observer* – málo používaný

CIE 1931 -Color matching functions

Opäť funkcie $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ určujú intenzitu X, Y, Z

$$\text{mono}(\lambda) = x(\lambda)X + y(\lambda)Y + z(\lambda)Z$$

Farebný priestor XYZ

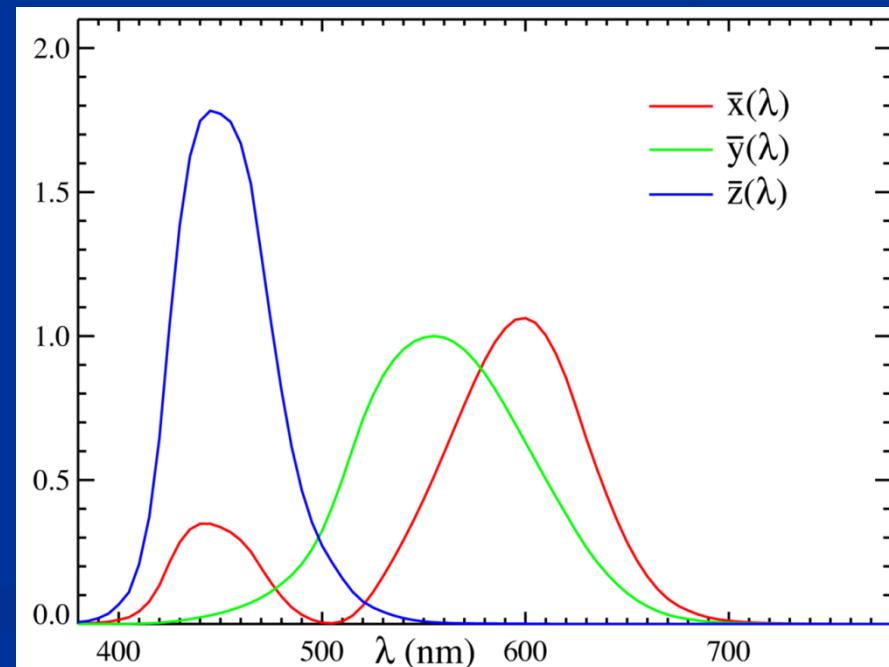
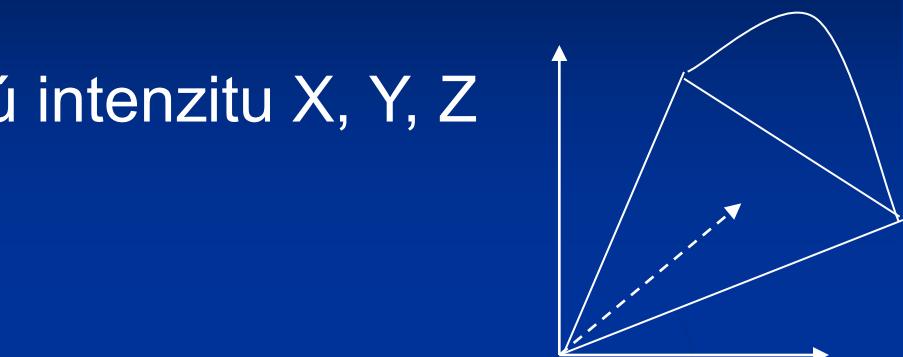
Pre farbu danú spekrálnou krvkou $I(\lambda)$

$$X = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

λ je vlnová dĺžka zodpovedajúceho monochromatického svetla

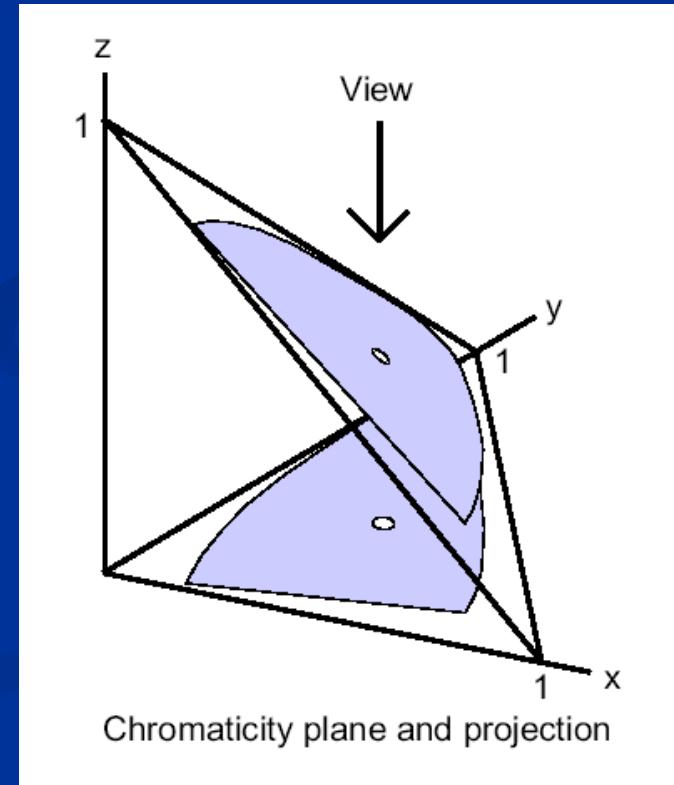
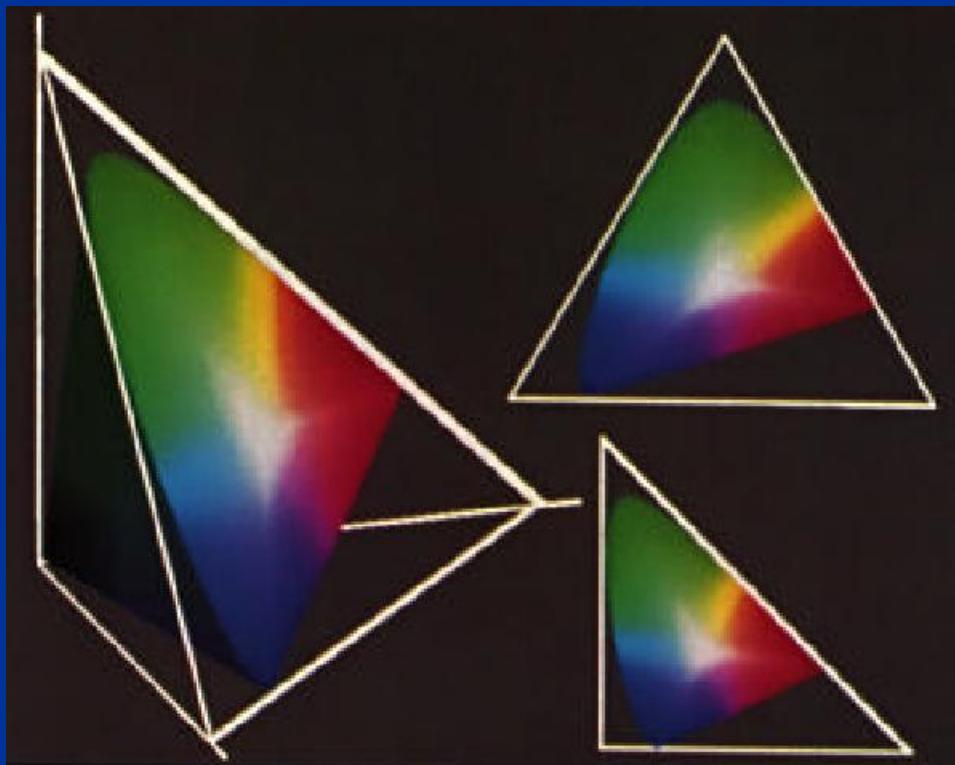


CIE 1931

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

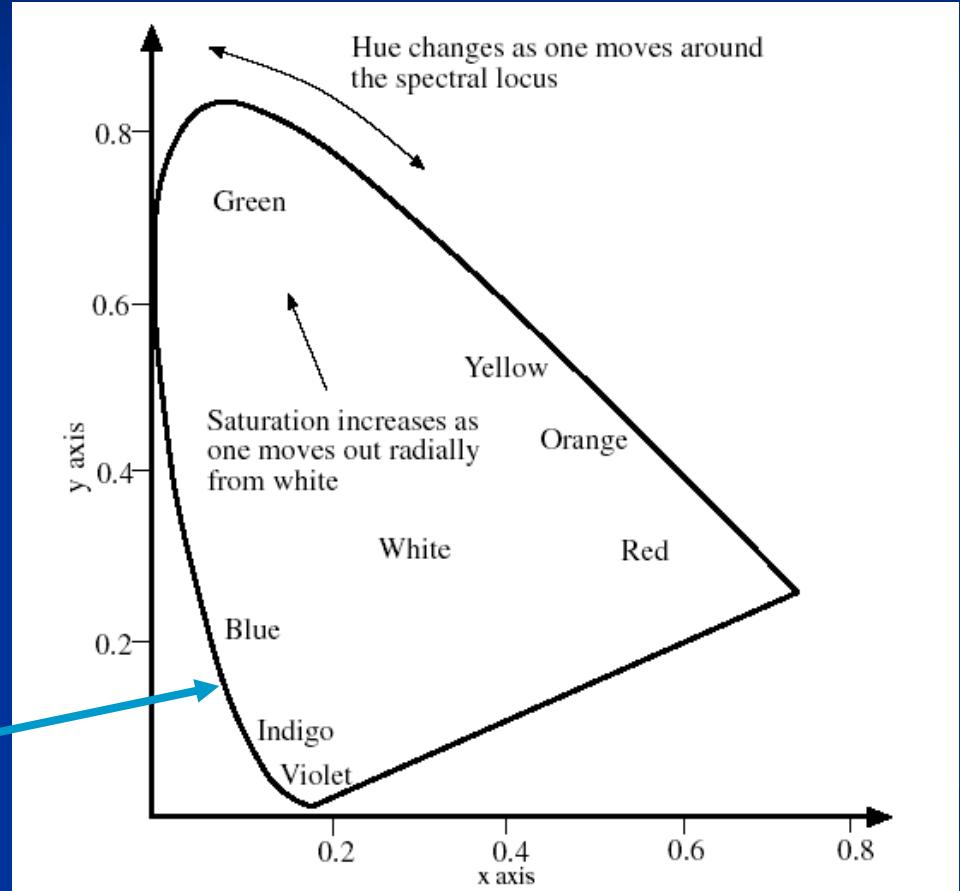
$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y$$

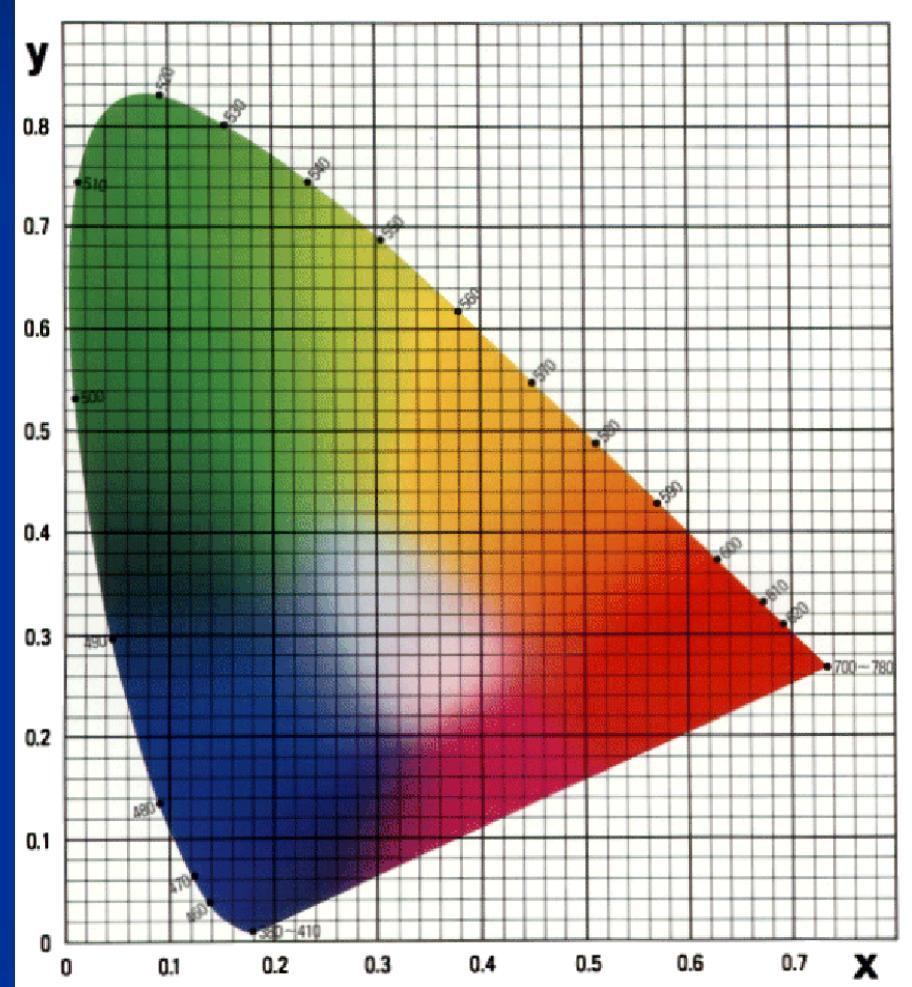
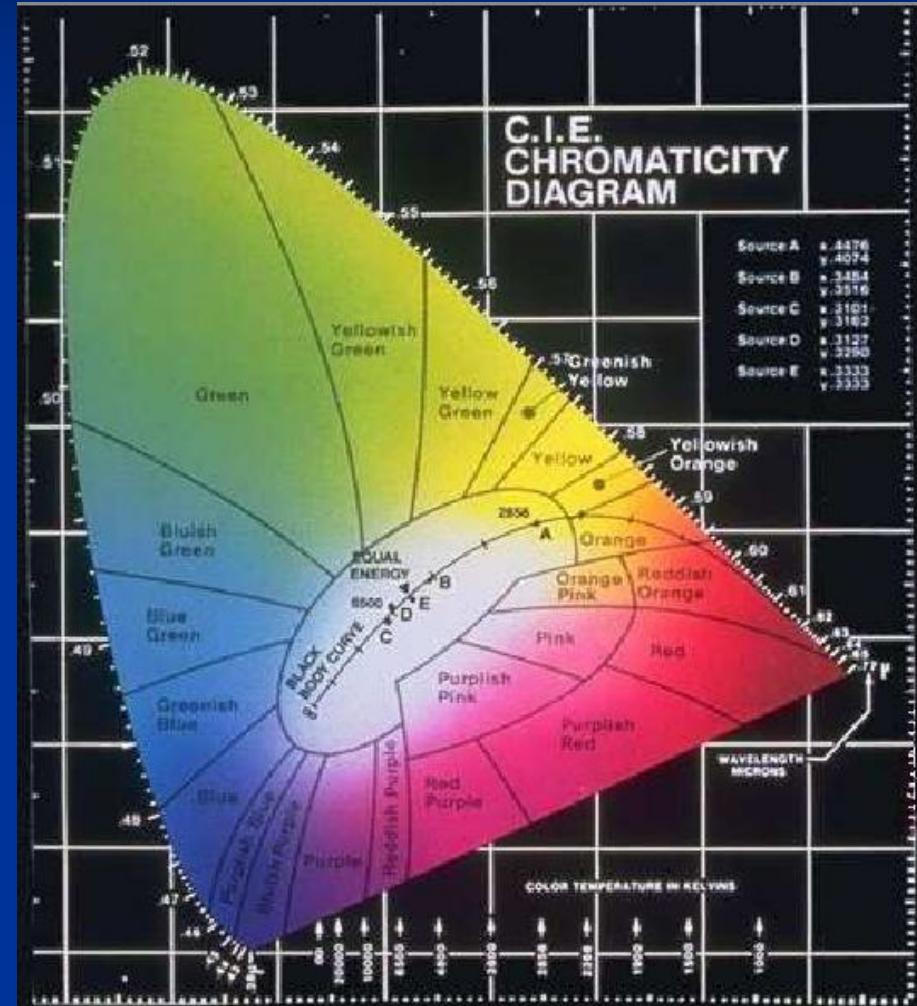


CIE xy chromacity diagram

Svetový štandard xyY
xy – určujú H a S
Y = L



CIE diagram



CIE diagram

Významné body v CIE diagrame – definícia „bielej“

CIE Standard Illuminants:

A - tungsten light (wolframové svetlo)

B - sunset

C - blue sky

D65 - average daylight

E - equal energy white ($x=y=z=1/3$)

Farba vyžarovaná ideálnym čiernym telesom pri danej teplote (v stupňoch Kelvina)

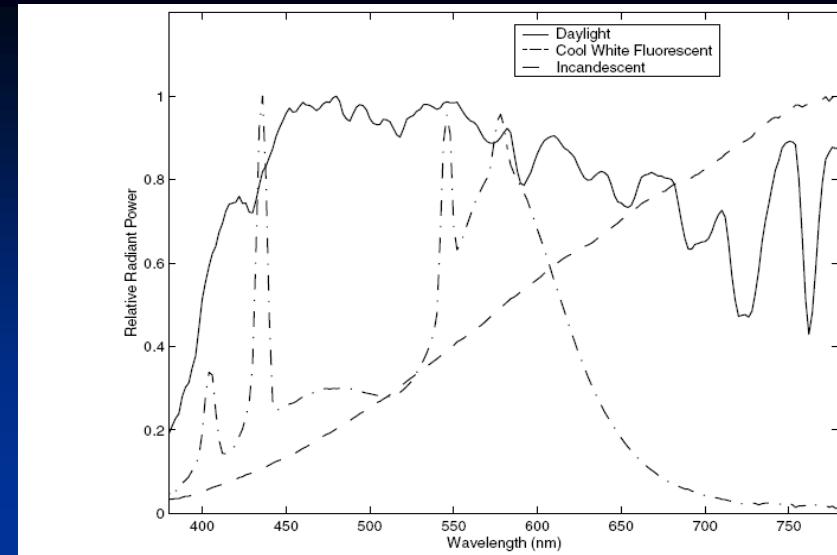
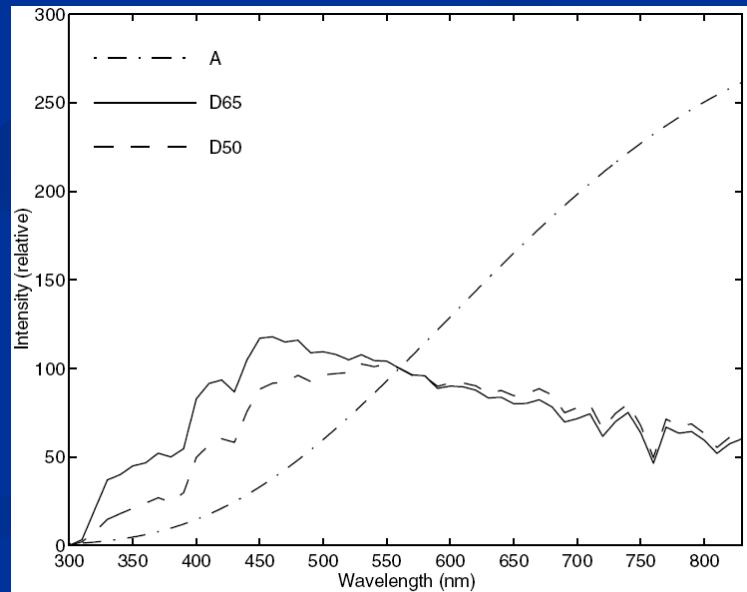


Figure 1.1 Measured relative spectral power distributions (SPDs) for daylight, cool white fluorescent office lighting, and an incandescent lamp.



CIE standard illuminants.

CIE diagram

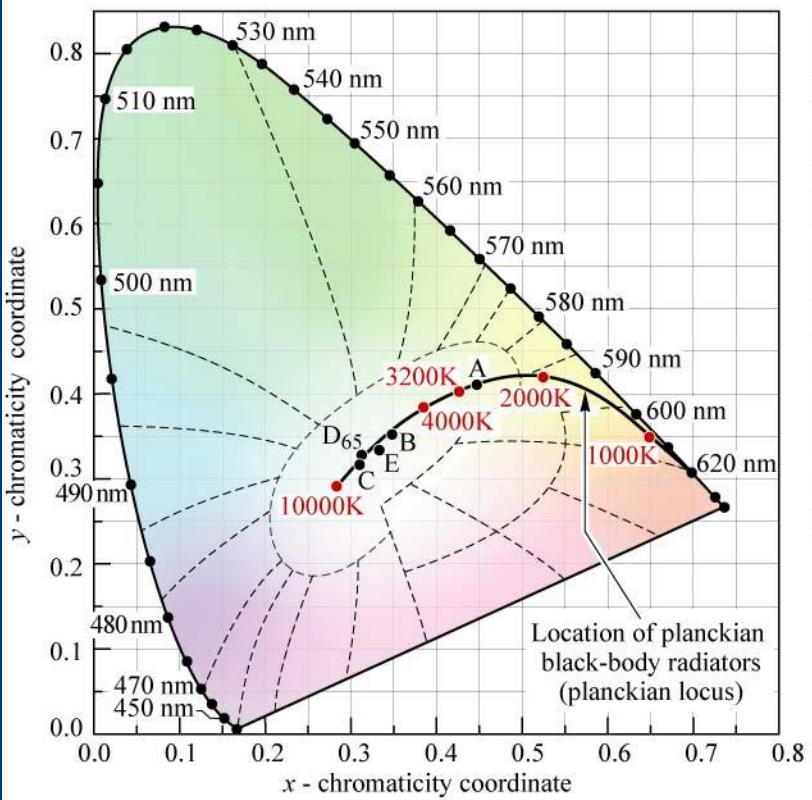


TABLE 3.5-1. XYZ Tristimulus Values of Standard Illuminants

Illuminant	X_0	Y_0	Z_0
A	1.098700	1.000000	0.355900
C	0.980708	1.000000	1.182163
D ₅₀	0.964296	1.000000	0.825105
D ₆₅	0.950456	1.000000	1.089058
E	1.000000	1.000000	1.000000

Illuminant A
 $(x, y) = (0.4476, 0.4074)$
 (Incandescent source, $T = 2856$ K)

Illuminant B
 $(x, y) = (0.3484, 0.3516)$
 (Direct sunlight, $T = 4870$ K)

Illuminant C
 $(x, y) = (0.3101, 0.3162)$
 (Overcast source, $T = 6770$ K)

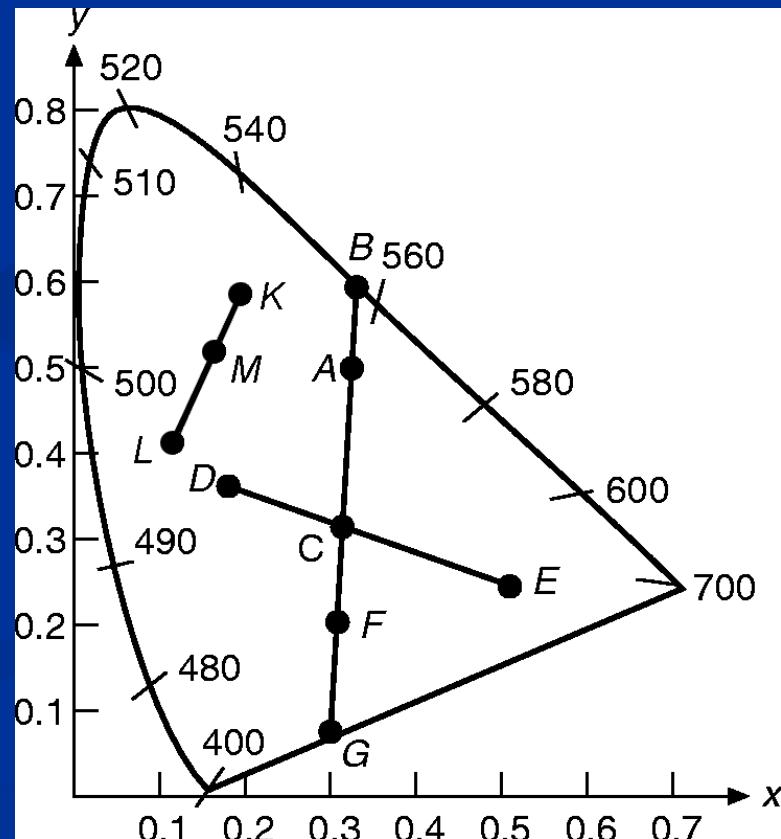
Illuminant D₆₅
 $(x, y) = (0.3128, 0.3292)$
 (Daylight, $T = 6500$ K)

Illuminant E (equal-energy point)
 $(x, y) = (0.3333, 0.3333)$

Fig. 18.3. Chromaticity diagram showing planckian locus, the standardized white Illuminants A, B, C, D₆₅, and E, and their color temperature (after CIE, 1978).

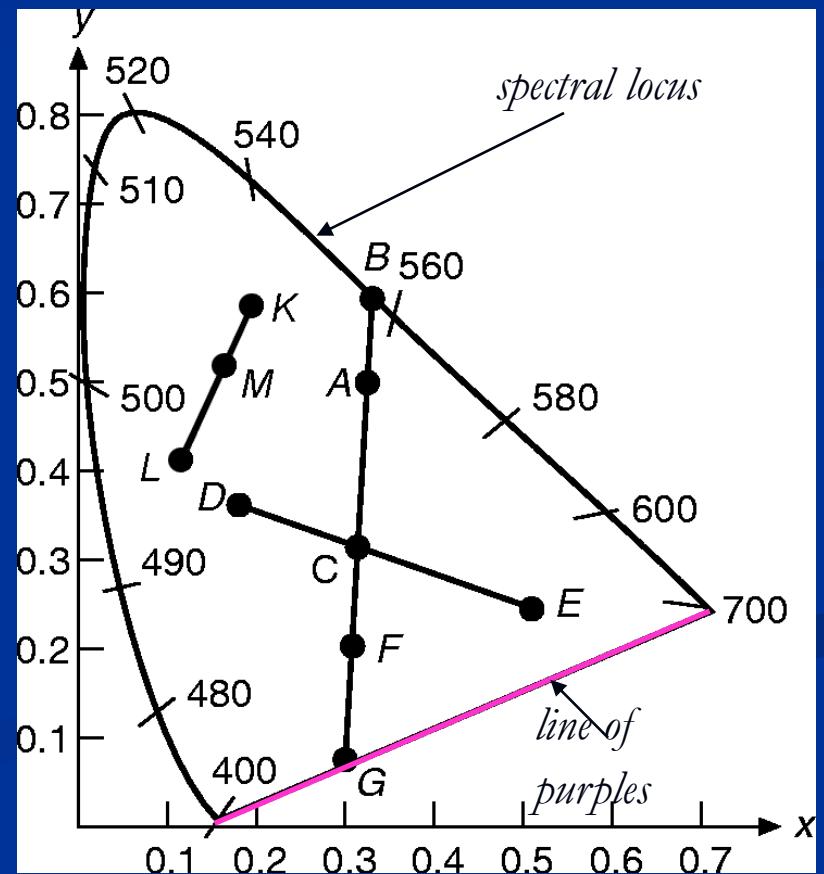
CIE diagram - vlastnosti

- Referenčný biely bod - CIE standard illuminant C.
- Ak zložíme 2 farby (K, L), výsledná farba leží na úsečke
 $\Rightarrow M = tK + (1-t)L$
- Dominantná vlnová dĺžka farby A je zhodná s farbou B
- B je spektrálna farba
- podiel AC/BC je sýtosť farby A

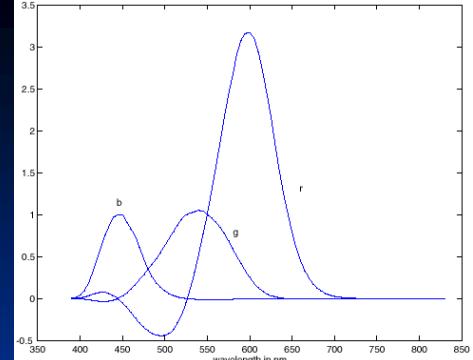


CIE diagram - vlastnosti

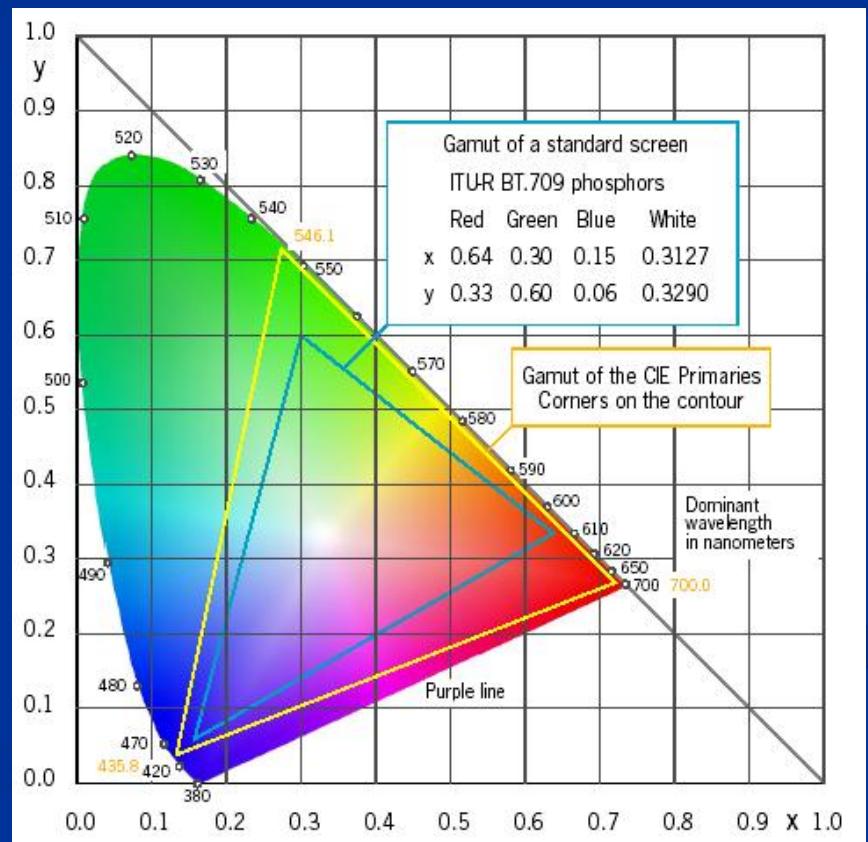
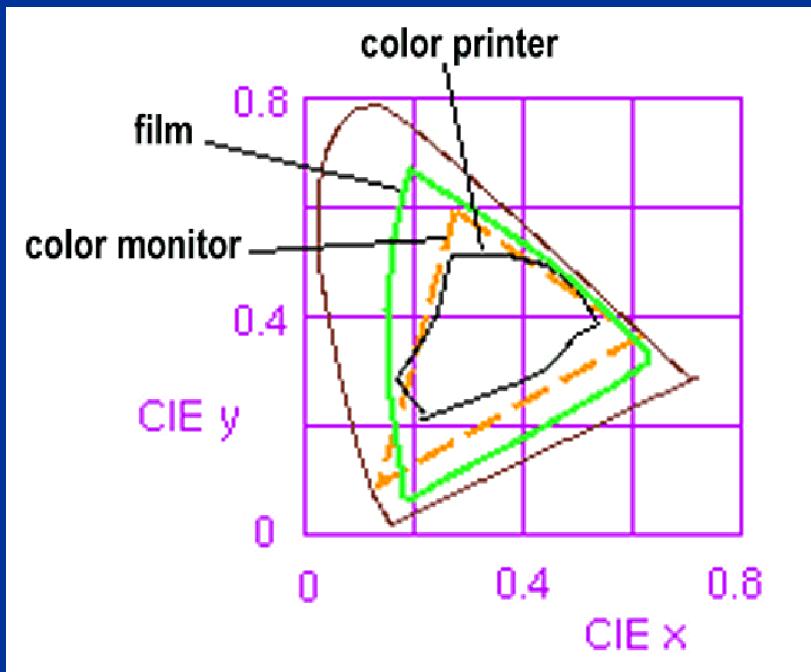
- Niektoré nespektrálne farby (ružové, fialové odtiene) nemajú dominantnú vlnovú dĺžku, sú definované komplementárной dominantnou vlnovou dĺžkou
 $F \Rightarrow B$
- podiel CF/CG je sýtost' farby F
- D, E sú komplementárne farby



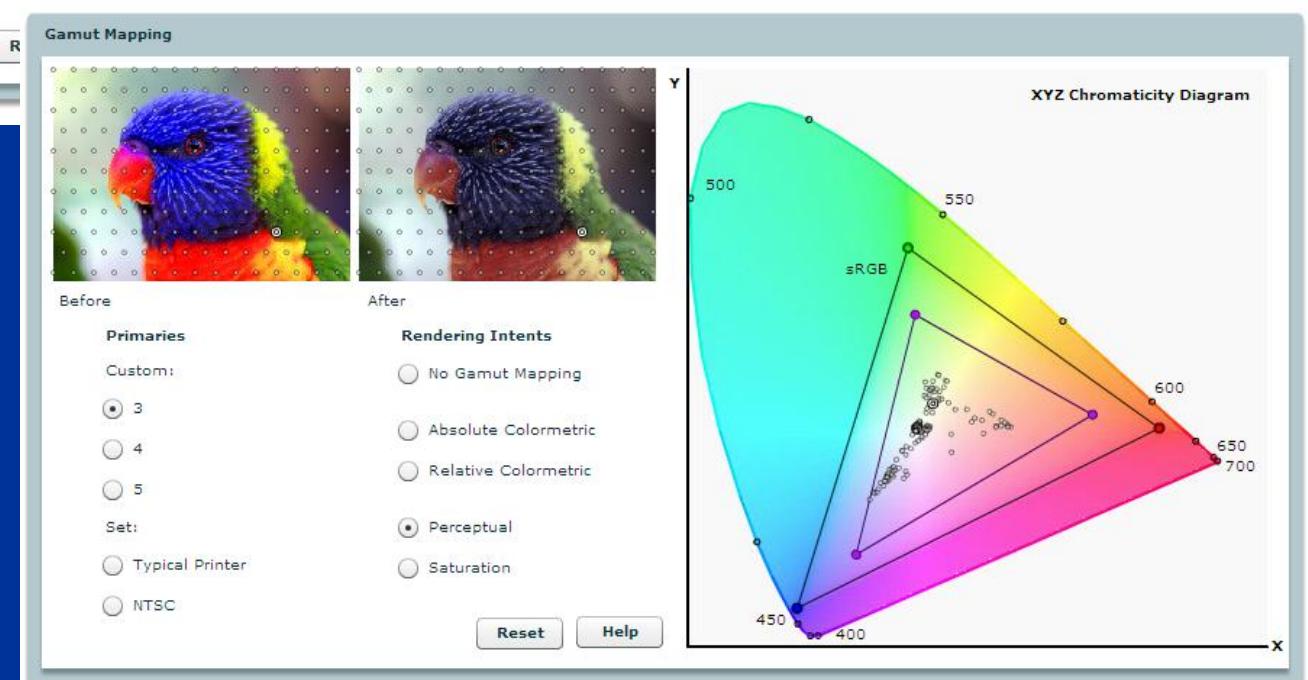
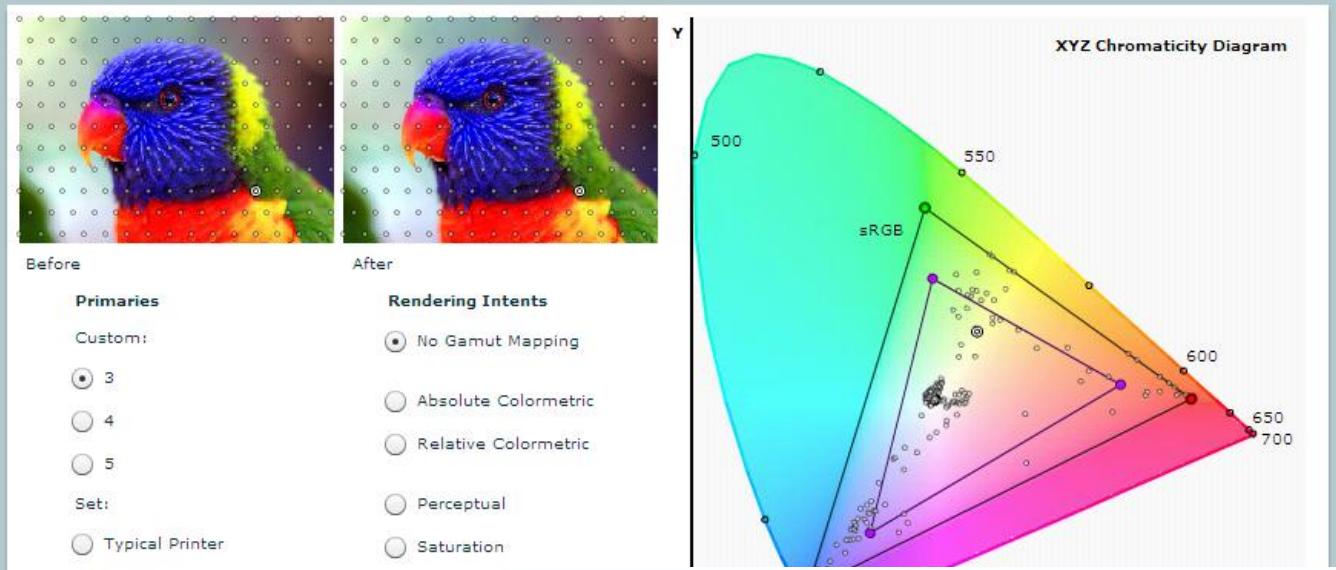
Gamut (rozsah)



Priestor farieb dosiahnuteľných (zobraziteľných)
daným zariadením



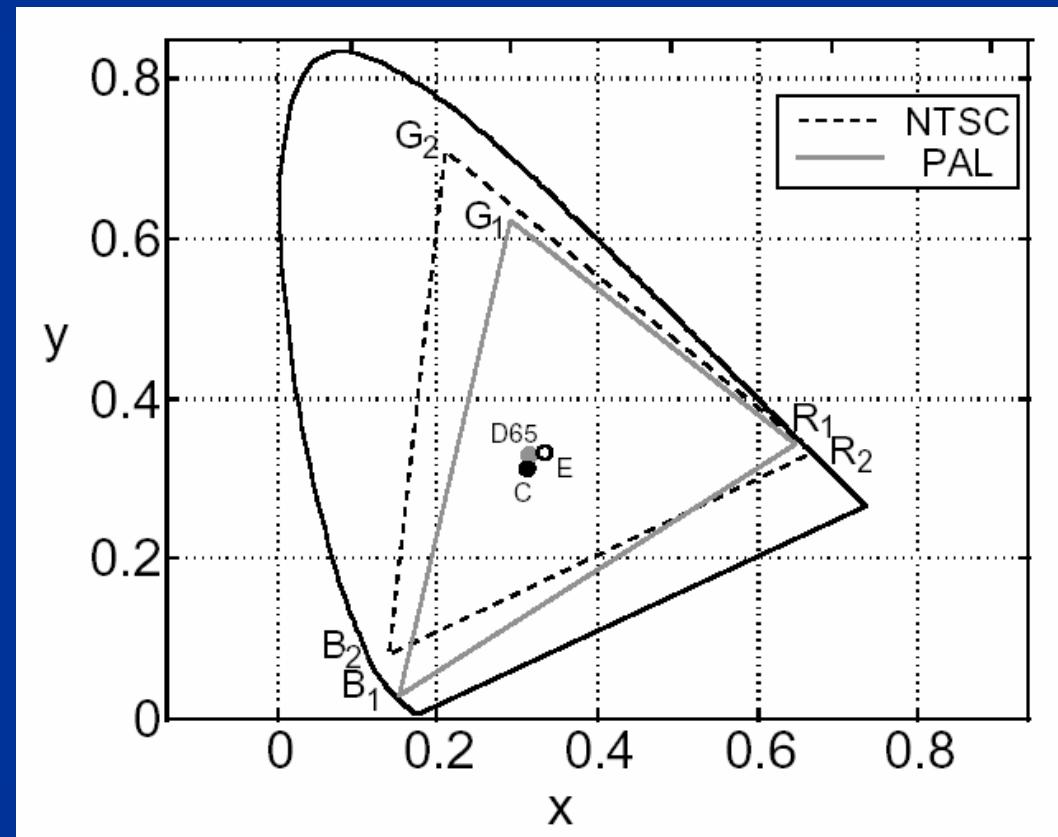
Gamut Mapping

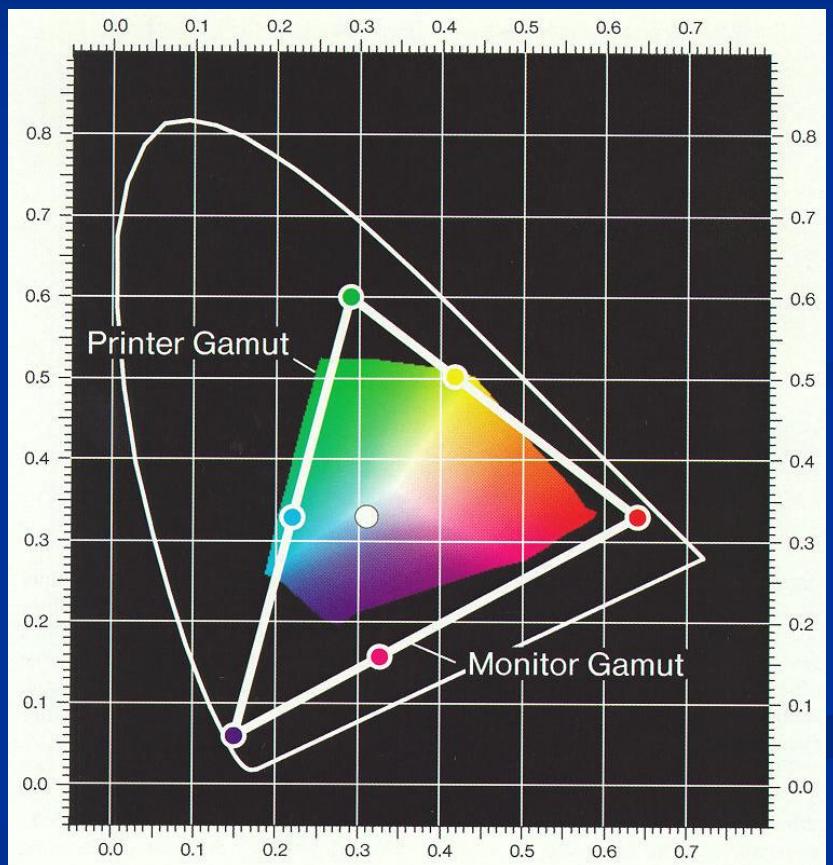
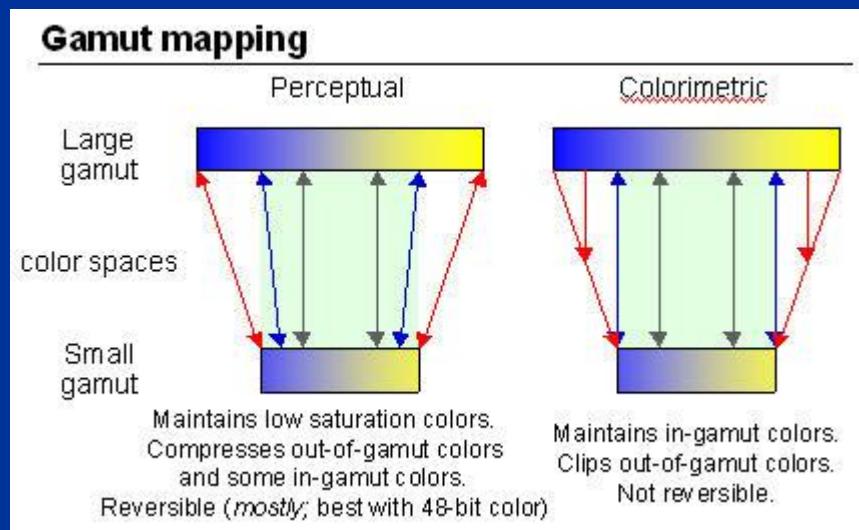


Televízne normy a gamut

$R_1 G_1 B_1$ – primárne farby v norme PAL
D65 – referenčná biela

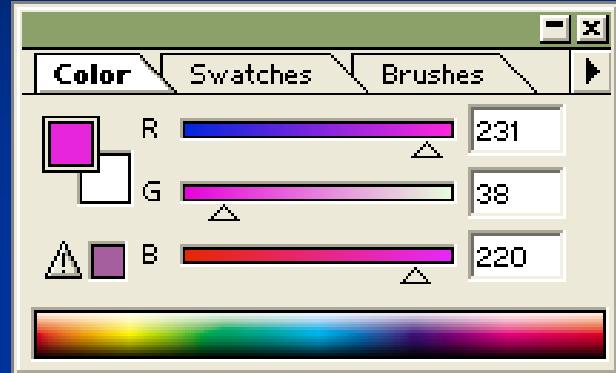
Norma NTSC
 $R_2 G_2 B_2$
CIE C





Adobe Photoshop Gamut

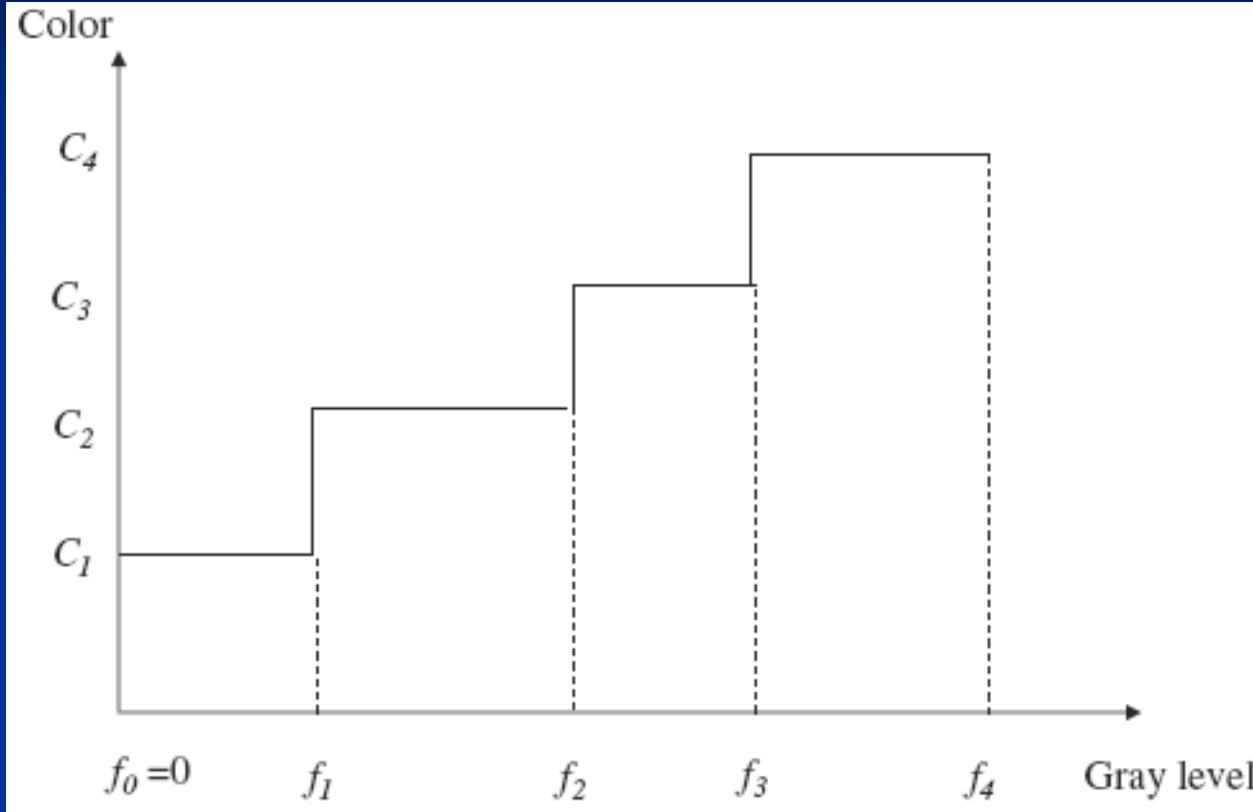
Indikácia „out-of-gamut“ farby



Zobrazovanie Pseudo-farby

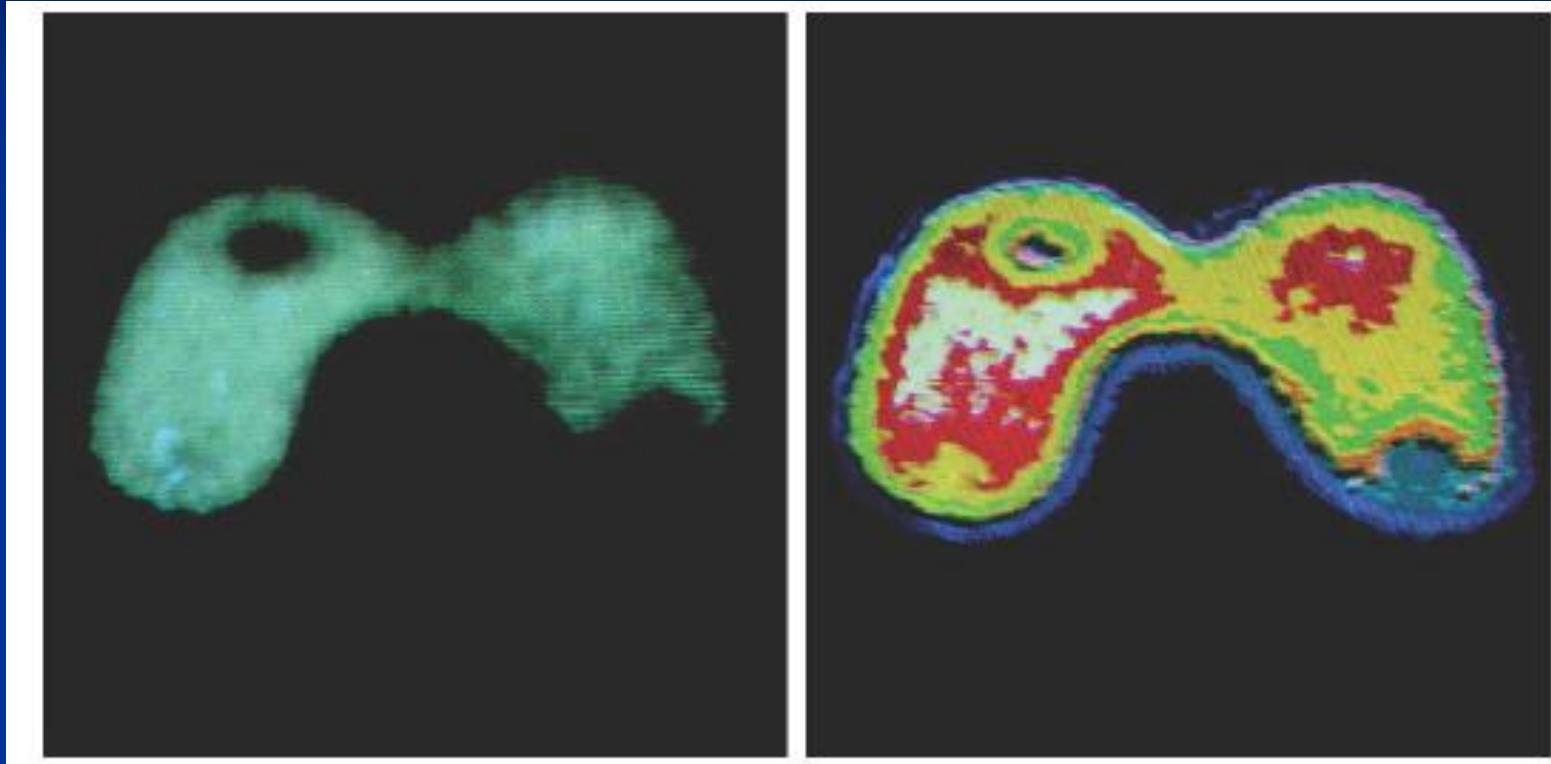
- **Intensity slicing:** Zobrazí rôzne odtiene šedej ako rôzne farby
- Užitočné vo vizualizácii medicínskych, vedeckých, vegetačných obrazov
- Ak nás zaujímajú príznaky v určitom rozsahu intenzít alebo niekoľkých intervaloch intenzít
- **Frequency slicing:** Dekompozícia obrazu do rôznych frekvenčných komponentov a ich reprezentovanie rôznymi farbami.

Intensity Slicing



- Pixely s hodnotou intenzity šedej v rozsahu (f_{i-1}, f_i) sa zobrazia farbou C_i

Príklad 1



a b

FIGURE 6.20 (a) Monochrome image of the Picker Thyroid Phantom. (b) Result of density slicing into eight colors. (Courtesy of Dr. J. L. Blankenship, Instrumentation and Controls Division, Oak Ridge National Laboratory.)

Príklad 2

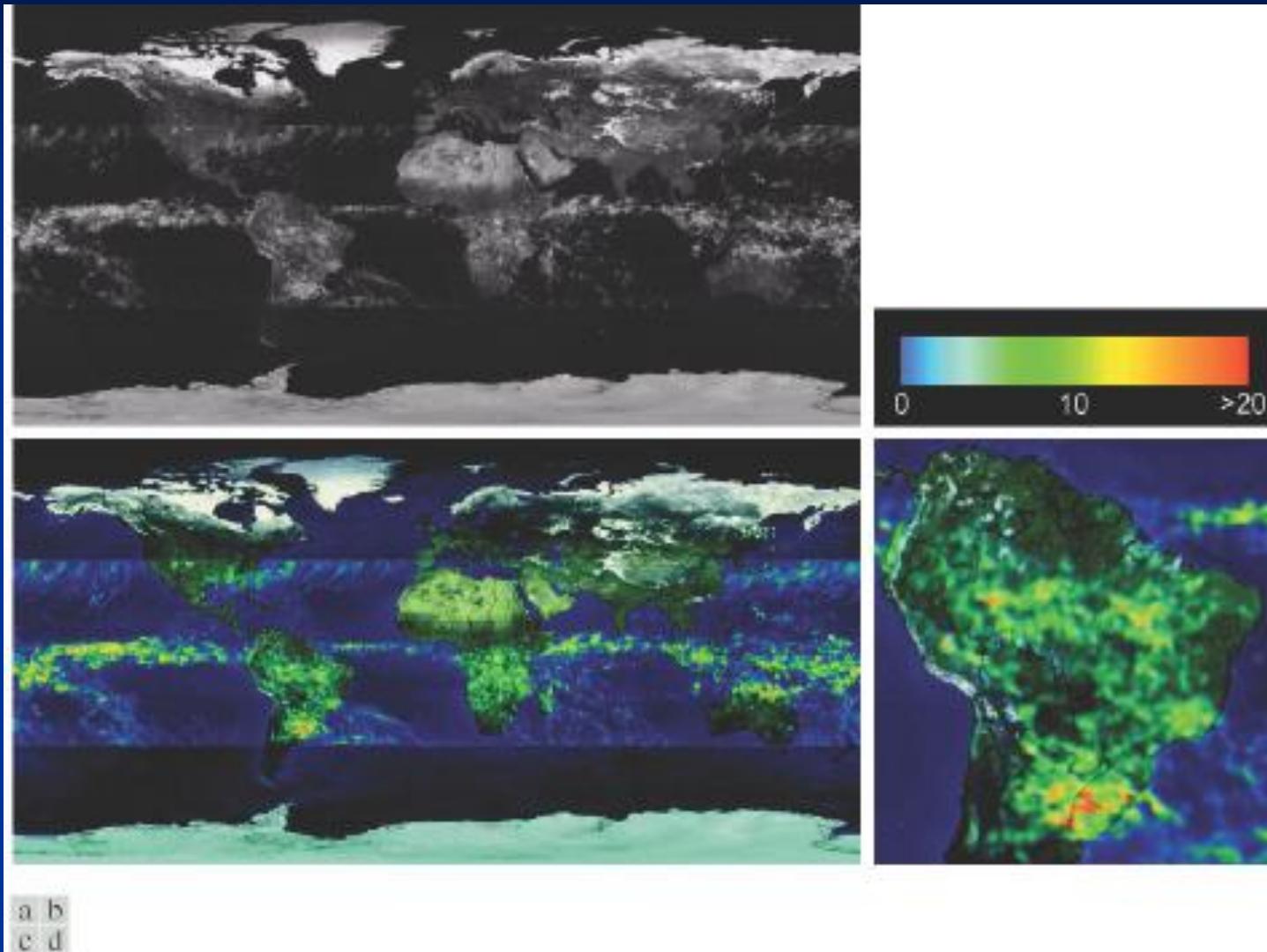


FIGURE 6.22 (a) Gray-scale image in which intensity (in the lighter horizontal band shown) corresponds to average monthly rainfall. (b) Colors assigned to intensity values. (c) Color-coded image. (d) Zoom of the South America region. (Courtesy of NASA.)

Pseudo-farba viacerých obrazov

- Zobrazit' obrazy z multi-sensora ako jeden farebný obraz
 - multi-spektrálny obraz zo satelitu

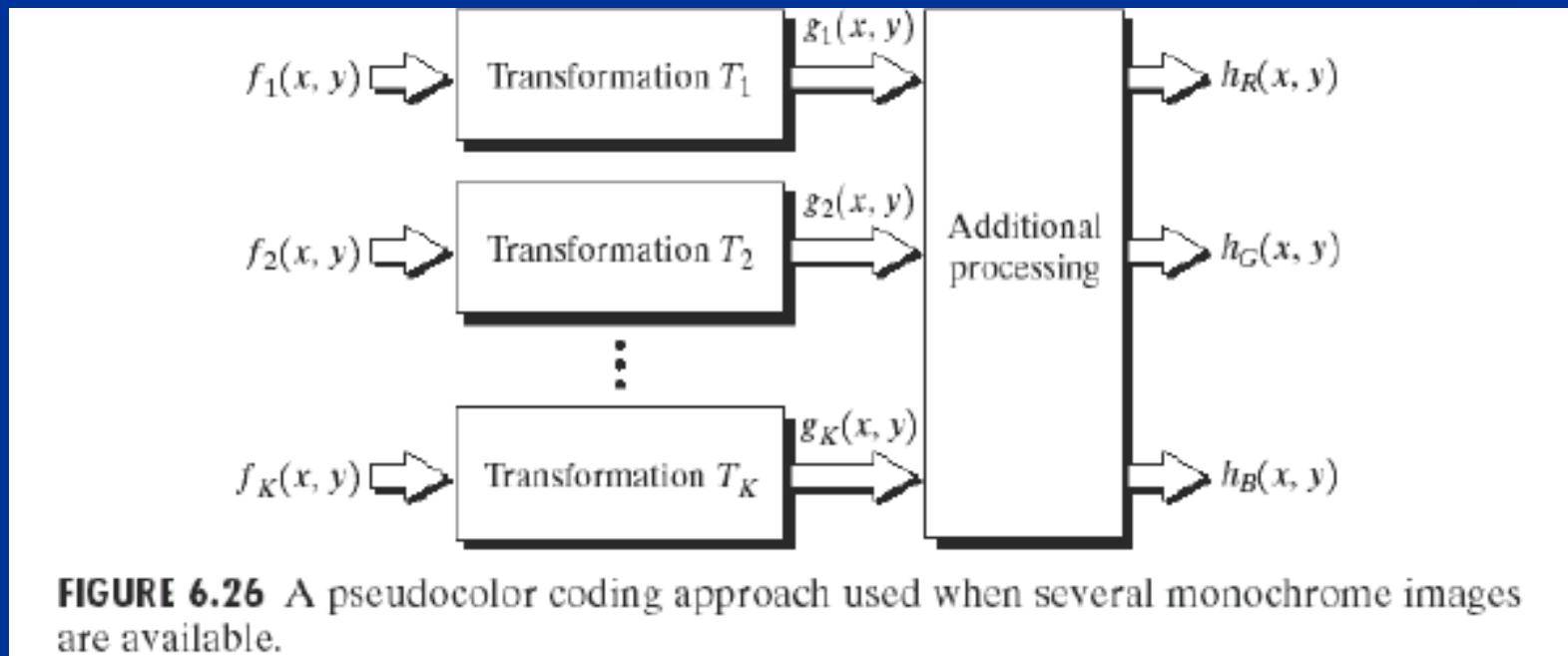
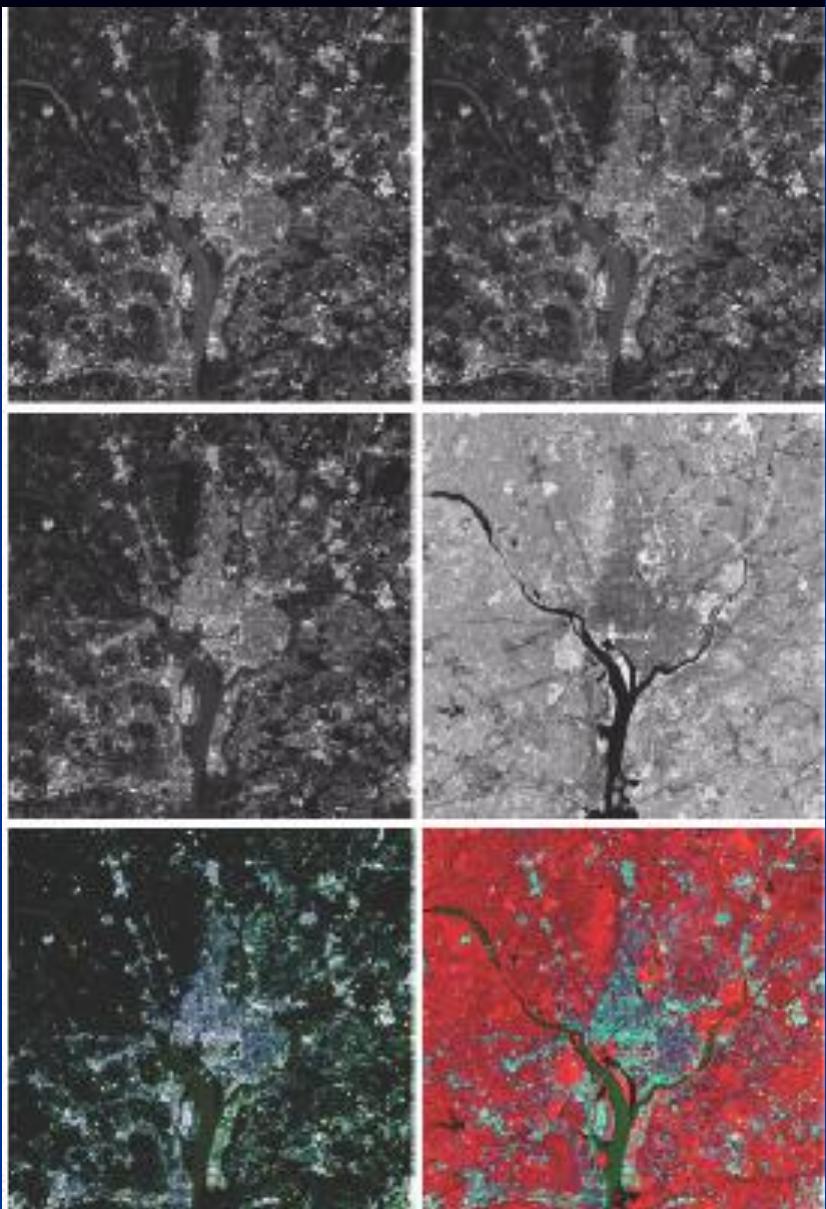


FIGURE 6.26 A pseudocolor coding approach used when several monochrome images are available.

Príklad

TABLE 1.1
Thematic bands
in NASA's
LANDSAT
satellite.

Band No.	Name	Wavelength (μm)	Characteristics and Uses
1	Visible blue	0.45–0.52	Maximum water penetration
2	Visible green	0.52–0.60	Good for measuring plant vigor
3	Visible red	0.63–0.69	Vegetation discrimination
4	Near infrared	0.76–0.90	Biomass and shoreline mapping
5	Middle infrared	1.55–1.75	Moisture content of soil and vegetation
6	Thermal infrared	10.4–12.5	Soil moisture; thermal mapping
7	Middle infrared	2.08–2.35	Mineral mapping



a b
c d
e f

FIGURE 6.27 (a)–(d) Images in bands 1–4 in Fig. 1.10 (see Table 1.1). (e) Color composite image obtained by treating (a), (b), and (c) as the red, green, blue components of an RGB image. (f) Image obtained in the same manner, but using in the red channel the near-infrared image in (d). (Original multispectral images courtesy of NASA.)

Príklad

- (a) Pseudo-farebné
zobrazenie mesiaca
Jupitera
(b) Priblíženie.
(Courtesy of NASA.)

