

Pokročilé spracovanie obrazu

Zuzana Černeková

cernekova@fmph.uniba.sk

miestnosť I-3

Sylabus

1. Svetlo a farba, videnie, farebné modely
2. Dátové štruktúry pre analýzu obrazu
3. Snímanie obrazu, vlastnosti digitálneho obrazu
4. Predspracovanie obrazu
5. Matematická morfológia
6. Detekcia hrán
7. Spektrálna doména - Fourierove transformácie
8. Wavelety
9. Segmentácia
10. Epipolárna geometria

Nadväzujúce prednášky

- Počítačové videnie
- Rozpoznávanie obrazcov
- Spracovanie farebného obrazu
- Aplikácie počítačového videnia
- Neurónové siete pre počítačové videnie

Požiadavky na hodnotenie

- 50 bodov na cvičeniach
(30b z cvičení treba ku skúške)
- 50 bodov na písomnej skúške
(25b treba na úspešné absolvovanie skúšky)

body	známka
91 - 100	A
81 - 90	B
71 - 80	C
61 - 70	D
55 - 60	E

BODOVANIE CVIČENIA

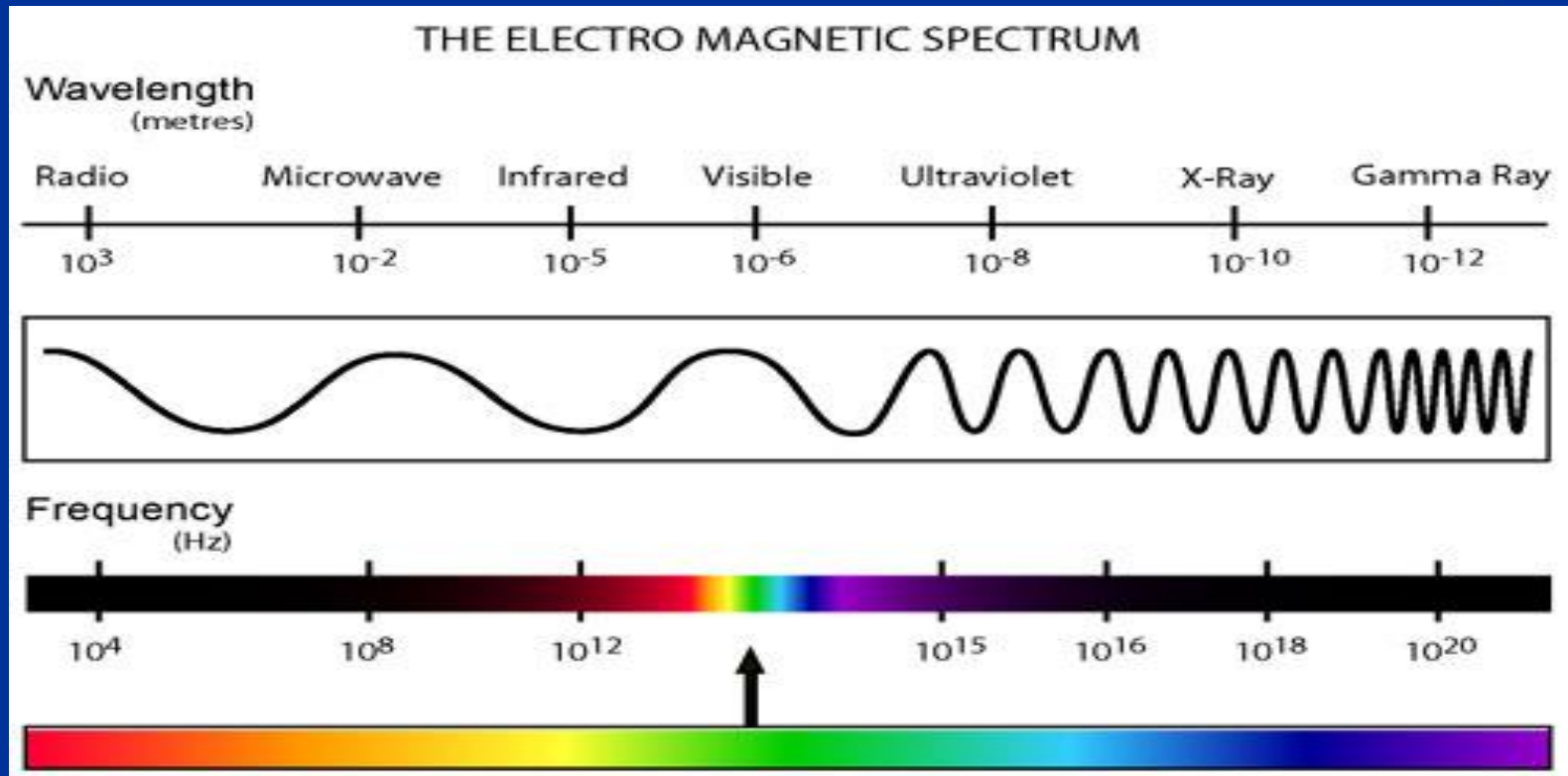
veľké úlohy (2x7,5 boda)	15 bodov
malé úlohy (5x3body)	15 bodov
projekt	20 bodov
spolu	50 bodov
minimum potrebné na pustenie ku skúške	30 bodov

Literatúra:

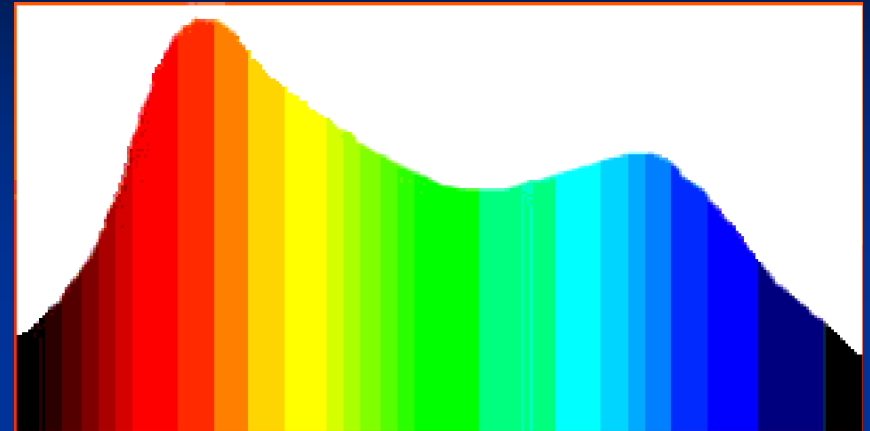
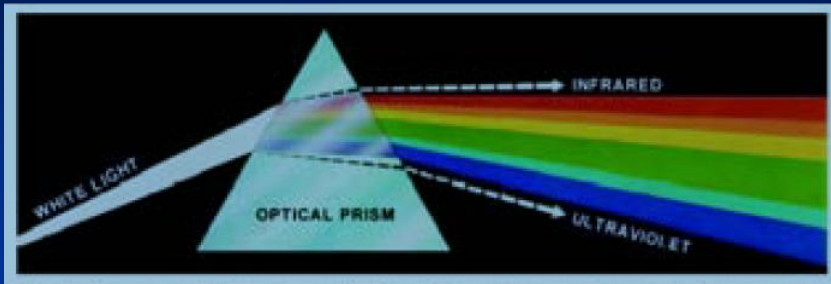
- Šikudová a kol. **Počítačové videnie, detekcia a rozpoznávanie objektov, wikina 2014**
- Šonka, Hlaváč, Boyle: **Image processing, Analysis and Machine Vision, 2nd edition, International Thomson Publishing Inc., 1999, USA**
- Richard Szeliski: **Computer Vision: Algorithms and Applications**, Springer 2010 (dostupná na <http://szeliski.org/Book/>)
- D.Forsyth and J.Ponce: **Computer Vision: A Modern Approach** , Prentice Hall, 2002.
- Gonzalez, C. R., Woods, E. R.: **Digital Image Processing**, Addison - Wesley, London,
- R. Schalkoff: **Digital image processing and computer vision**
- J.R. Parker: **Algorithms for Image Processing and Computer Vision**
- John C. Russ: **The Image Processing Handbook, Fifth Edition**

Light

- Elektromagnetic radiation
- Light – visible part of spectrum
- Pure colors correspond to single wavelengths



Spectral density functions



Spektrograf

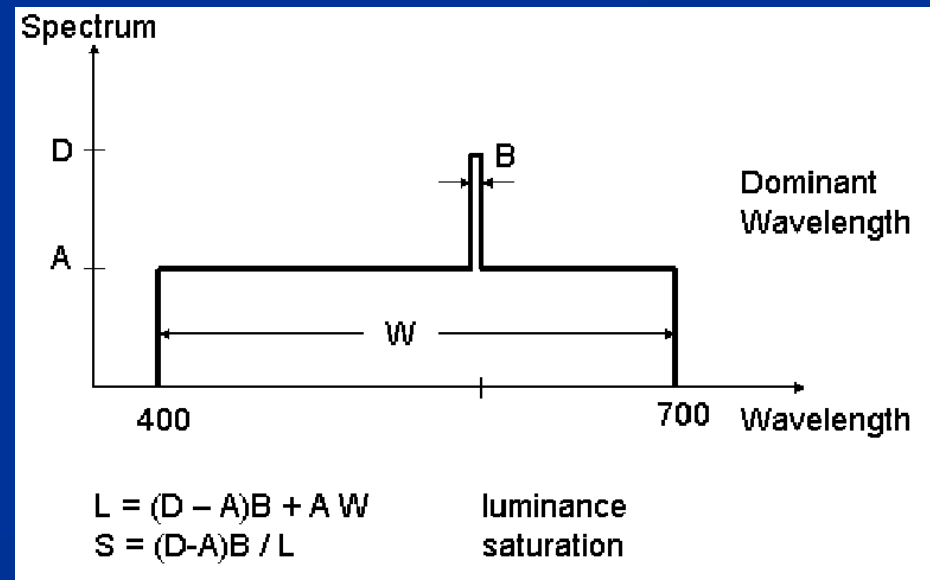
$s(\lambda)$ – spektrálna krivka

Energia svetla = plocha pod krivkou

pomocou dominantnej vlnovej dĺžky

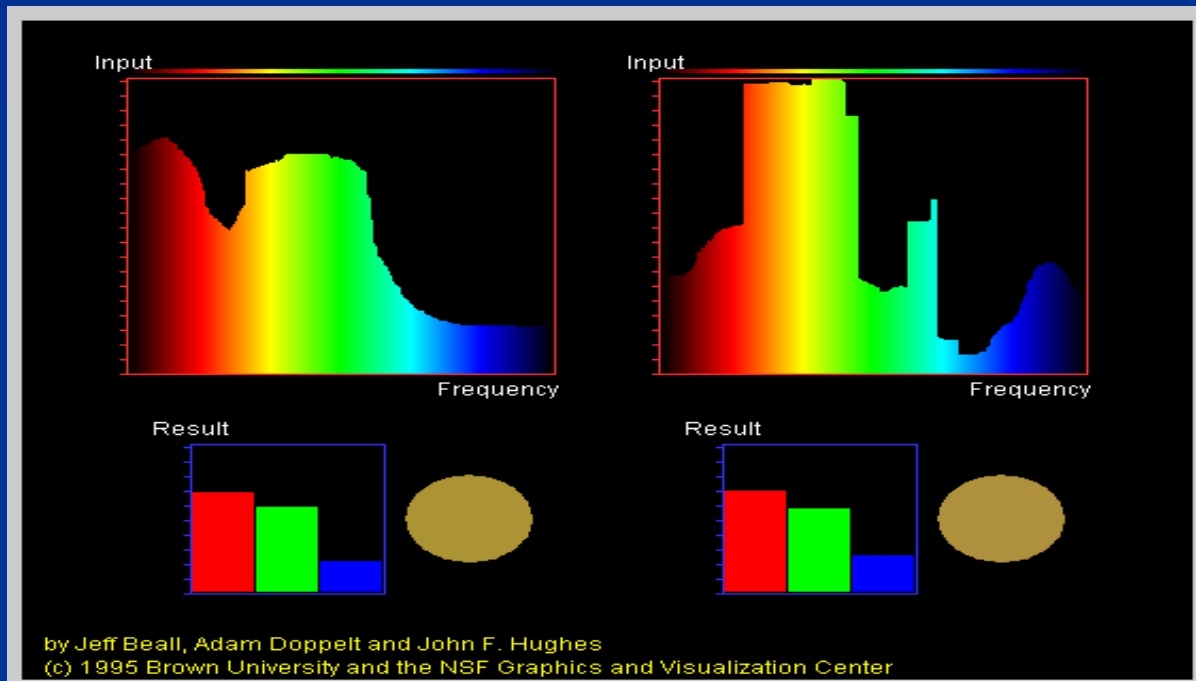
Odtieň je určený vlnovou dĺžkou

Ak $A=D \Rightarrow$ bezfarebné svetlo



Metamery

- Spektrálne rôzne farby ale ľudským okom nerozlíšiteľné



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

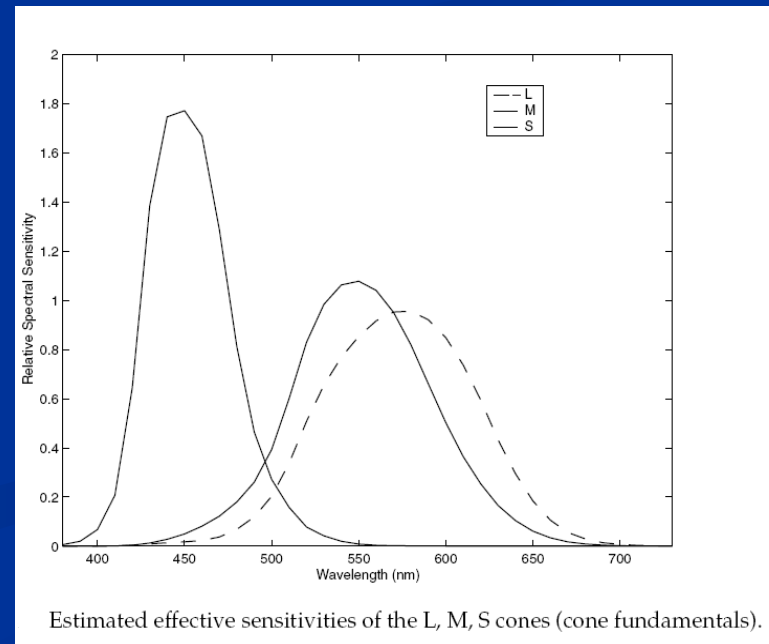
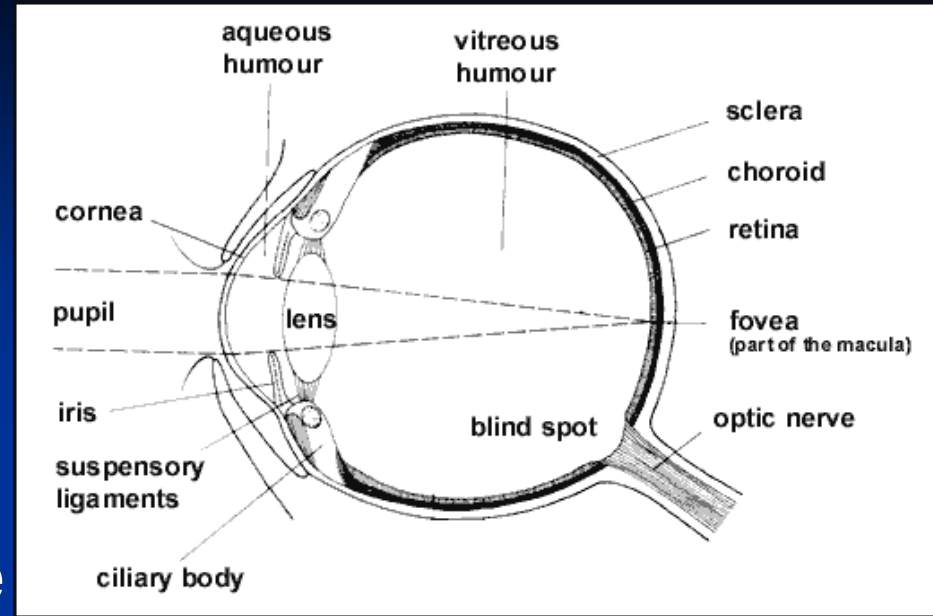
Zrak a videnie

Na sietnici (retina) oka

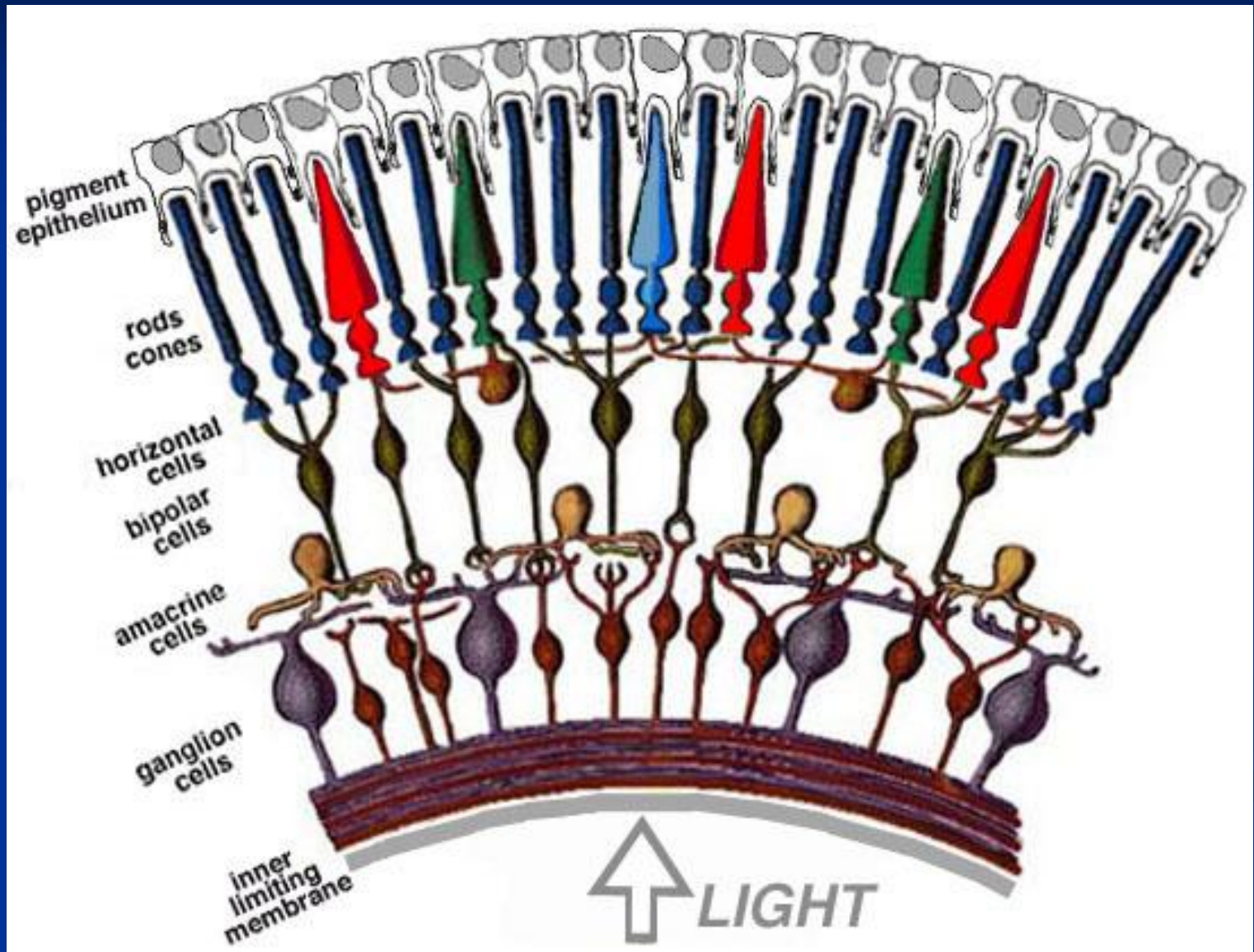
- **Tyčinky** (rods) – videnie za šera
- **Čapíky** (cones) – farebné videnie

3 typy čapíkov citlivé na

- dlhé (L)
- stredné (M) a
- krátke (S) vlny



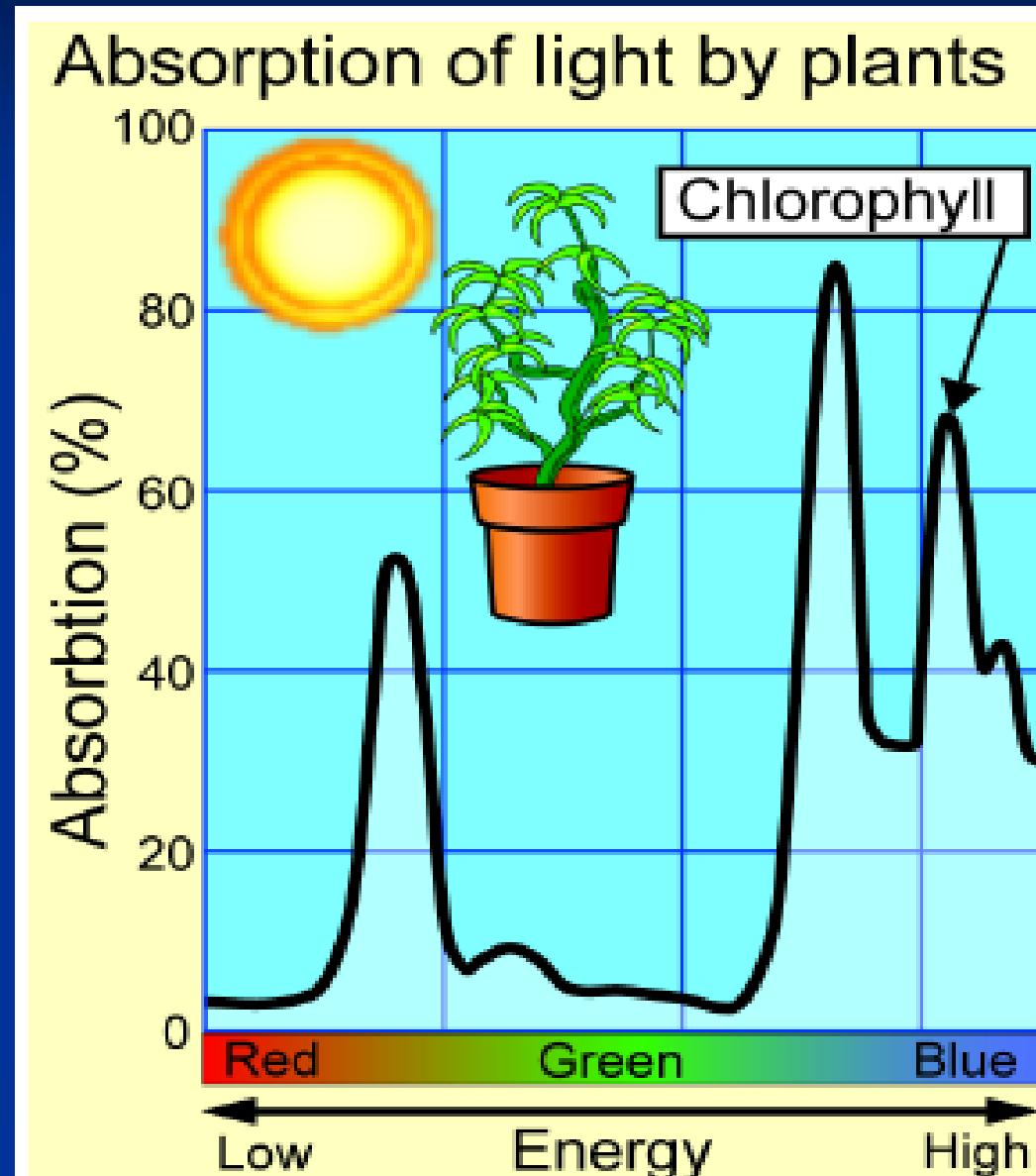
Retina



Prečo sú rastliny zelené?

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

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



Farboslepota

– porucha farbocitu (genetická alebo získaná)

Ku genetickým patria

- Dichromázia

jeden typ čapíkov chýba

1. protanope nevidí červenú - Daltonizmus,
2. deuteranope nevidí zelenú,
3. tritanope nevidí modrú

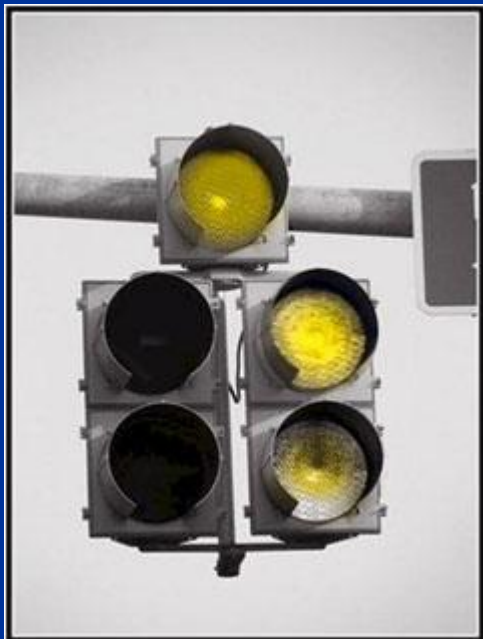
Protanopia a deuteranopia = červeno-zelená slepota

8% mužov a 0.5% žien

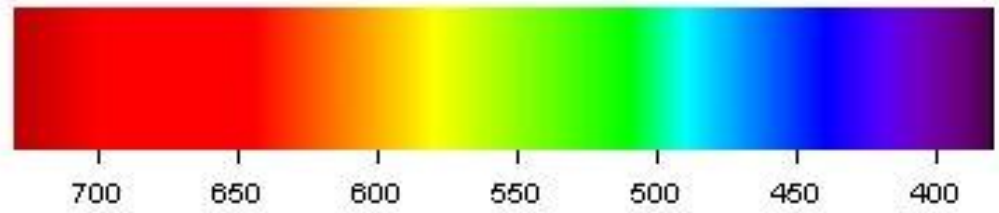
- Anomálna trichromázia

- Znížená citlivosť jedného typu čapíkov => Posunuté vnímanie farieb

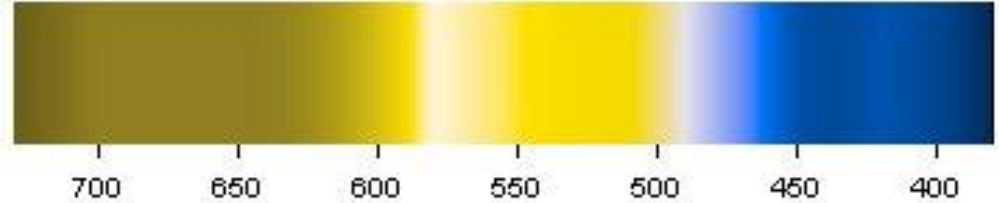
- Monochromázia – nerozlišuje farby vôbec



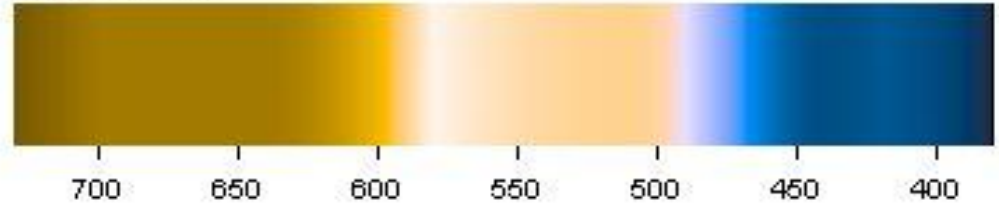
Normal



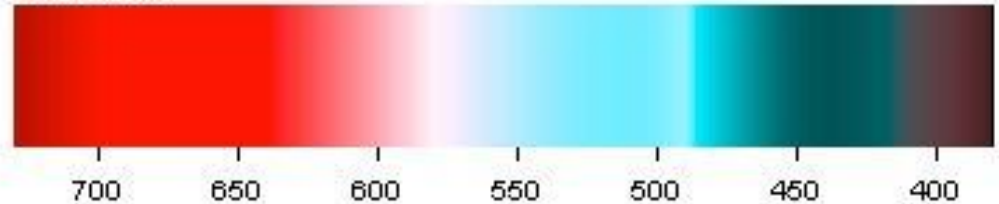
Protanopia



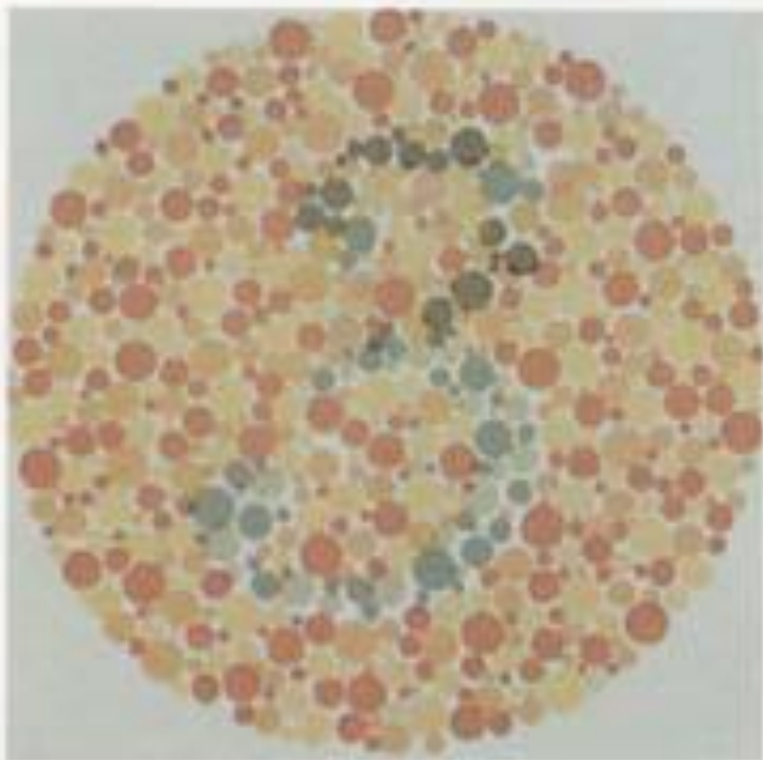
Deuteranopia



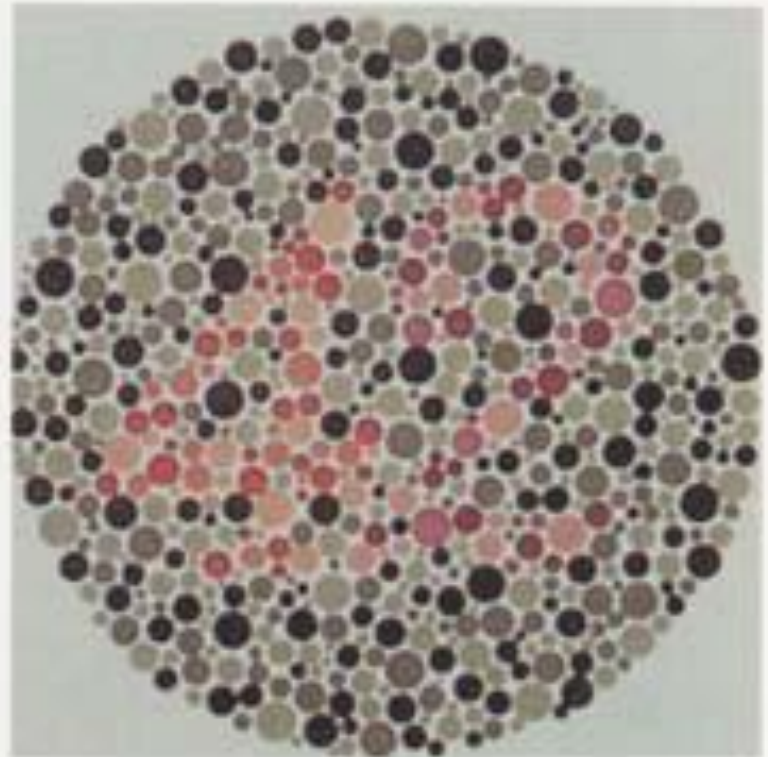
Tritanopia



Test farboslepoty



A

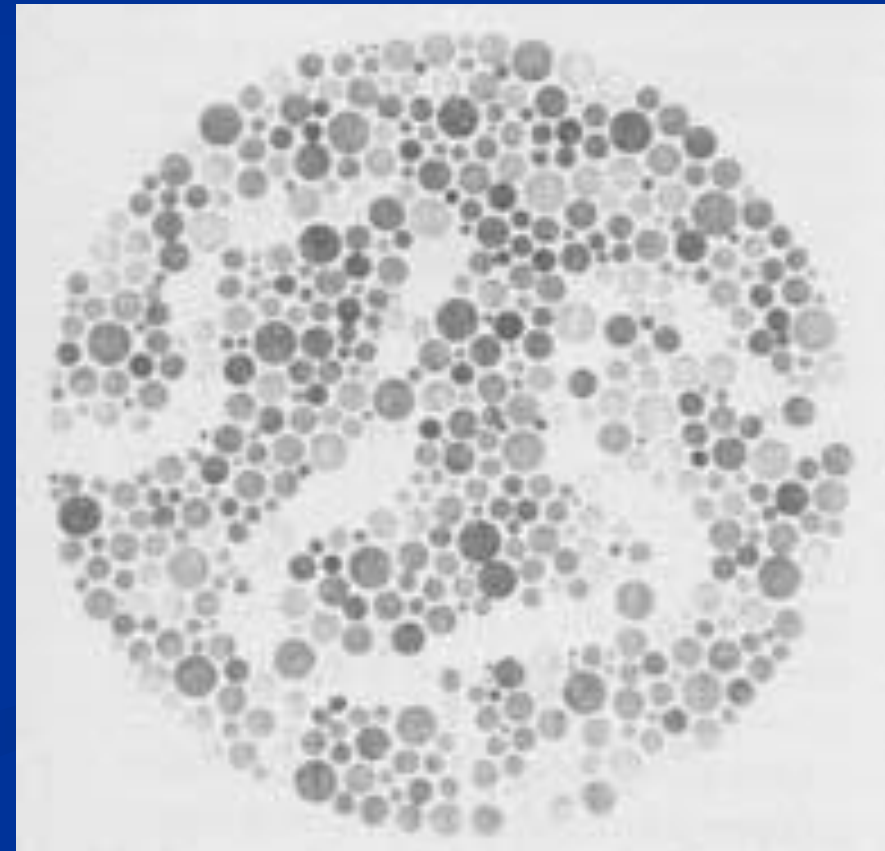
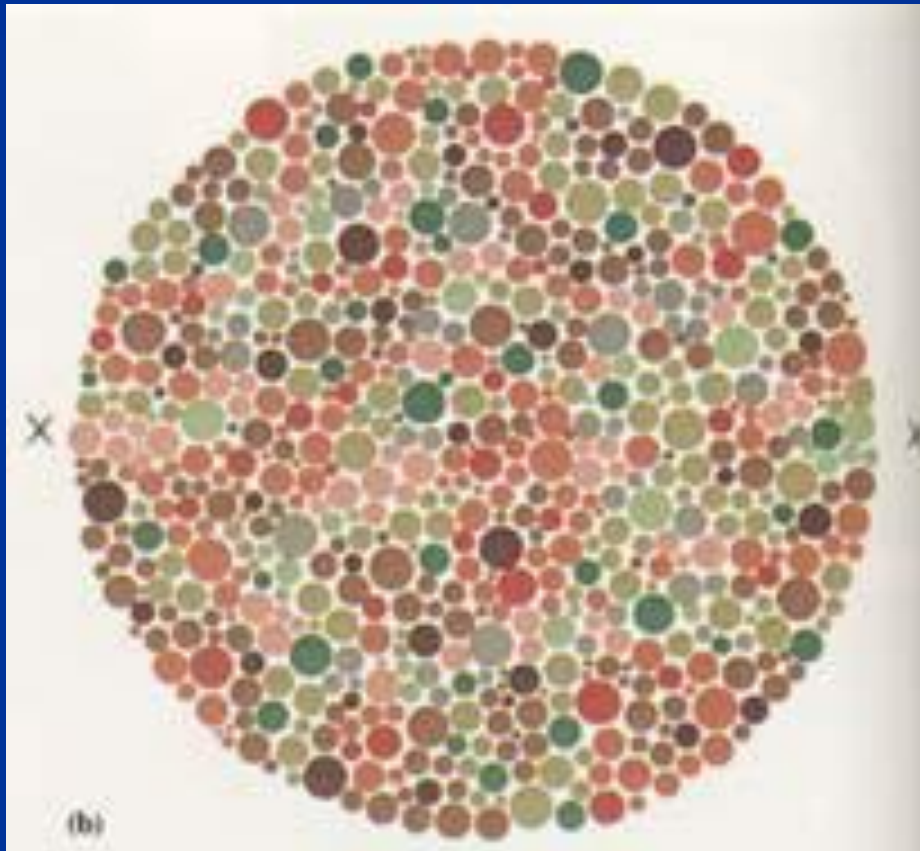


B

Test farboslepoty

Bludisko v intenzite farieb

- viditeľné len pre farboslepých





Meryon (a colorblind painter), *Le Vaisseau Fantôme*

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
- Zelená sa bude zdať najsvetlejšia, potom červená a modrá

Popis farby

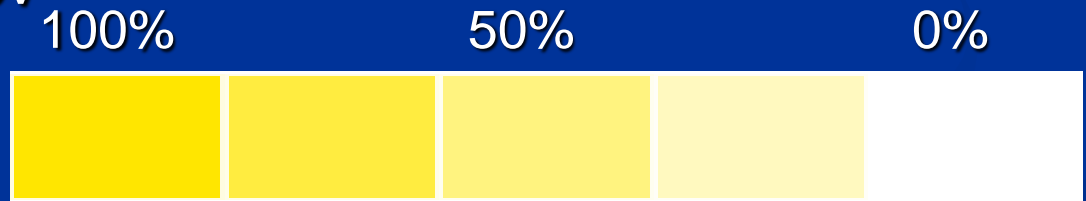
■ Trojica

Hue = odtieň



V priemere dokáže ľudské oko rozpoznať ~200 rôznych odtieňov

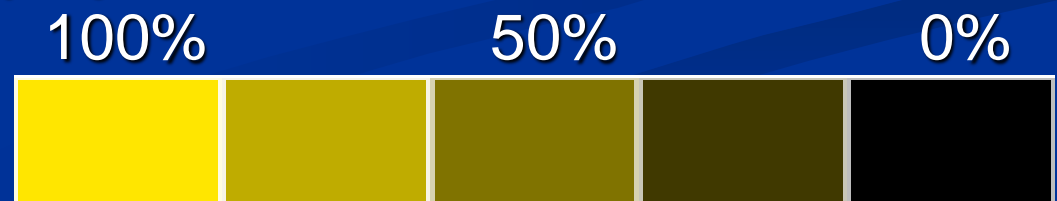
Saturation = sýtosť



(pastelové farby ... nenasýtené)

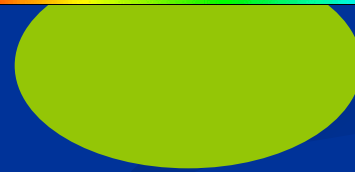
Ružová má taký istý odtieň ako **červená**, ale je menej saturovaná

Luminance (brightness) = jas, intenzita



Color matching

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



H 54

S 240 /255

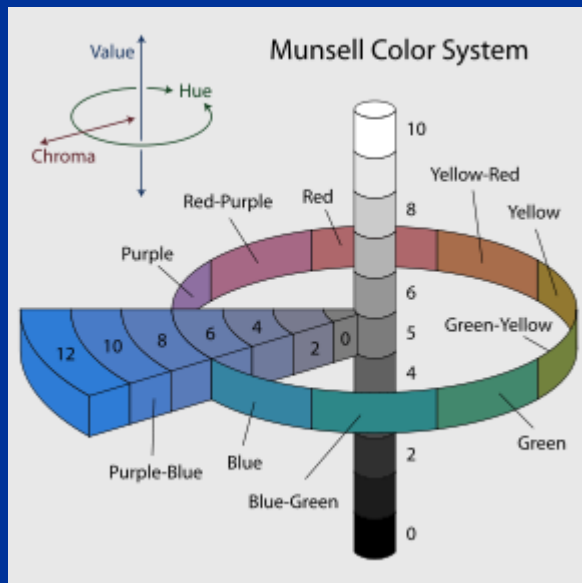
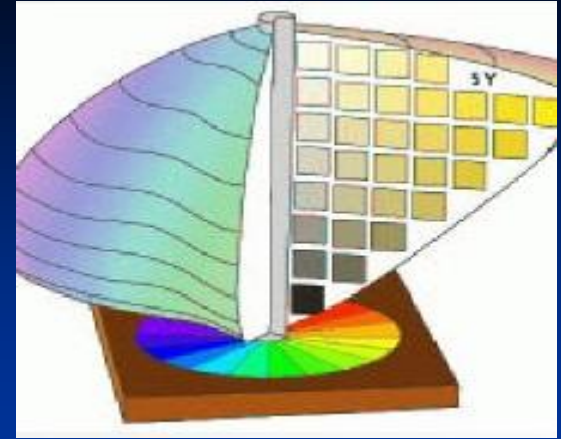
L 102

Potrebujeme iný popis farby

Porovnávanie s atlasom farieb

Munsellov atlas

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

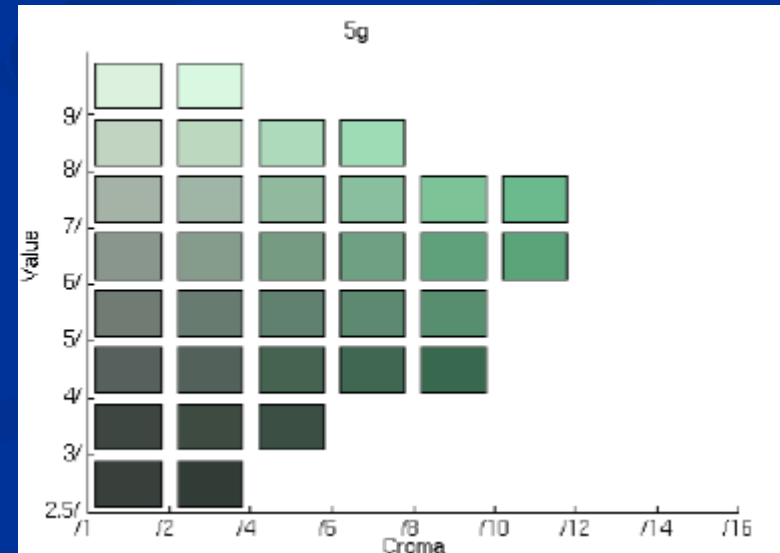
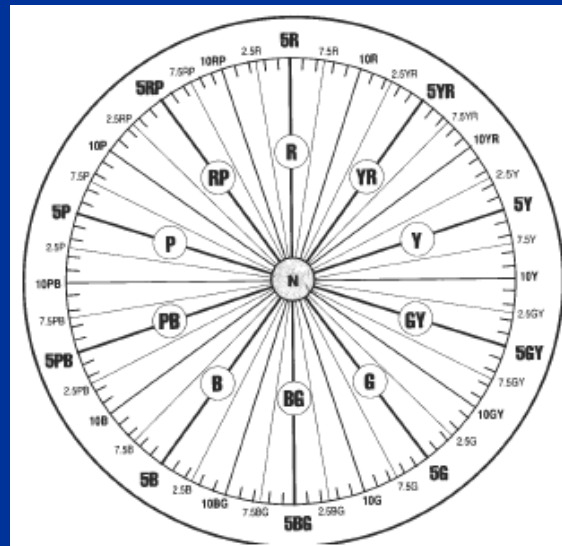


Munsellov atlas

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 ... saturovaná)



Macbeth ColorChecker

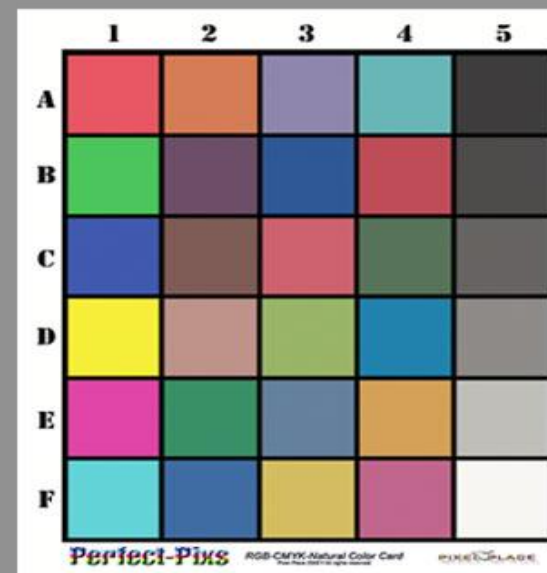
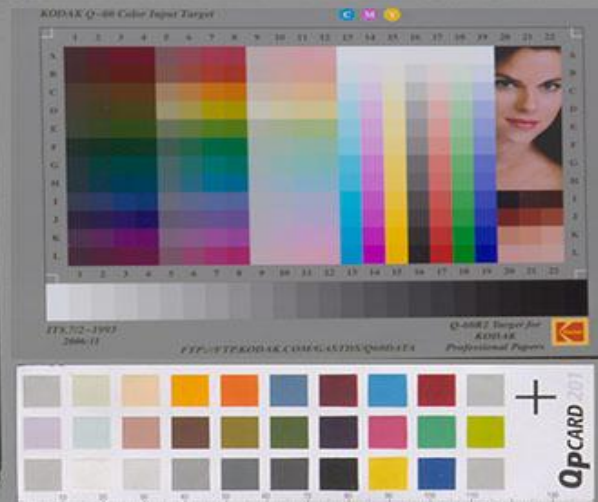
- Na kalibráciu systémov spracovania farebného obrazu
- 24 matných farieb



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

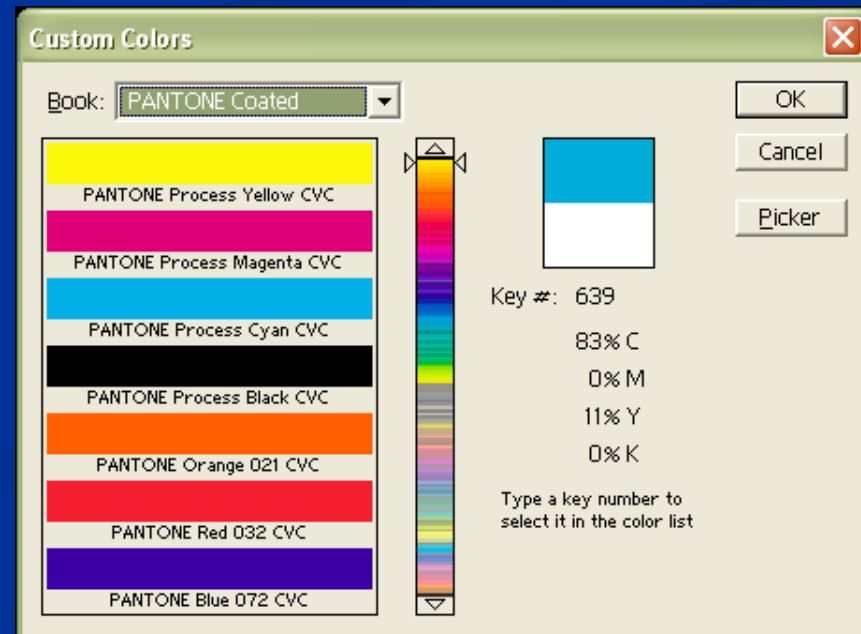


Pantone Matching System

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, ...



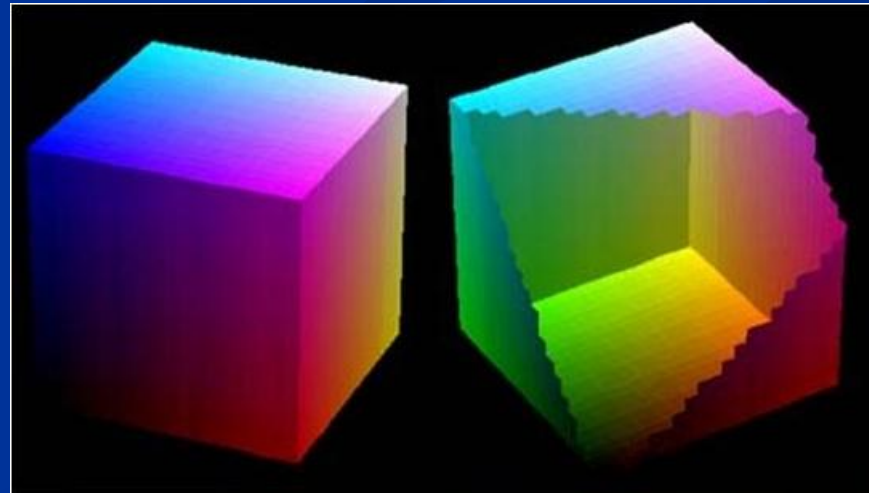
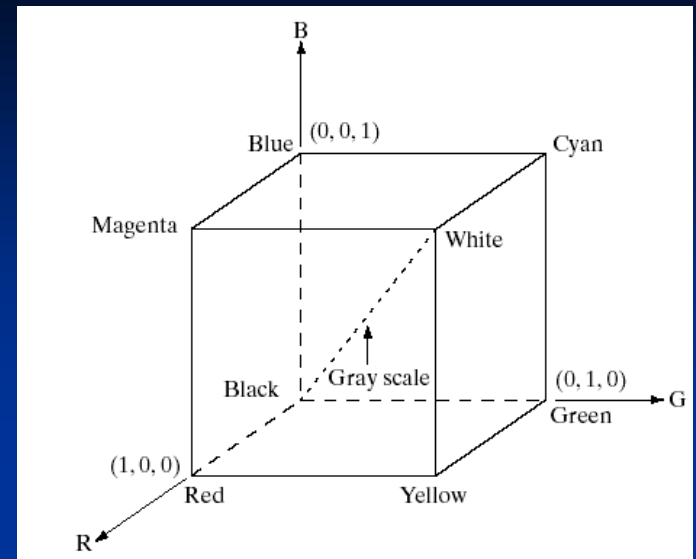
Modely farieb

- HW orientované:
 - RGB, CMYK, televízne normy
- Užívateľsky orientované:
 - HLS, HSV, HSI
- Vnemovo rovnomerné (perceptually uniform) :
 - CIE Lab, Luv, WUV
- Iné:
 - XYZ, oponent, TSV, LUX, YES, ...

RGB

Najznámejší model
Používaný v monitoroch
Farebné svetlá

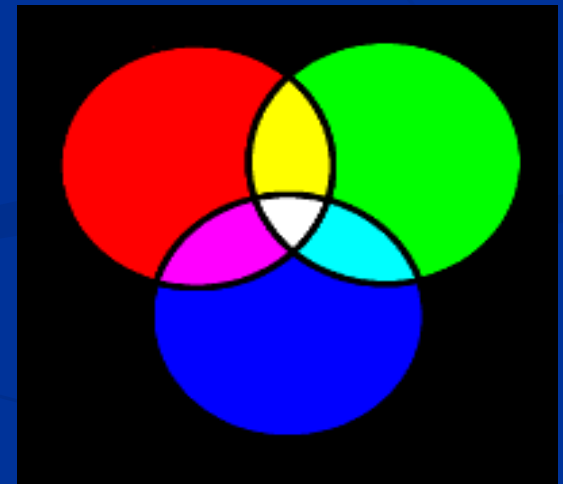
Hodnoty $R, G, B \in \langle 0, 1 \rangle$
Kocka



RGB

Aditívne skladanie farieb: čím viac farieb zložíme, tým je výsledok svetlejší (spočítava sa ich intenzita).

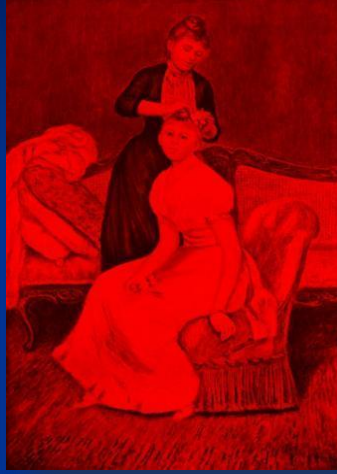
- Veľa rôznych priestorov založených na modeli RGB
- Každý ma iné hodnoty základných farieb užívateľovi obvykle nedostupné
- TV spoločnosti si určili hodnoty základných farieb RGB podľa použitých technológií



RGB Príklad



Original



Red Band



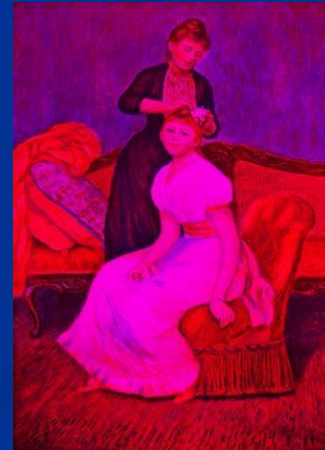
Green Band



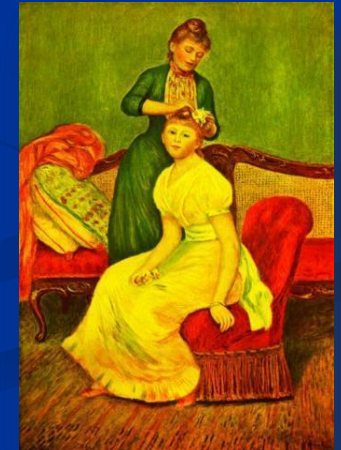
Blue Band



No Red



No Green



No Blue

Modely RGB

CIE RGB – E

NTSC – pôvodne C, teraz D65

EBU (European Broadcast Union) – C alebo D65

CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunications) – D65

ITU-R BT.709 standard

SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) – D65

Medzinárodná dohoda pre HDTV

ITU-R BT.709 standard

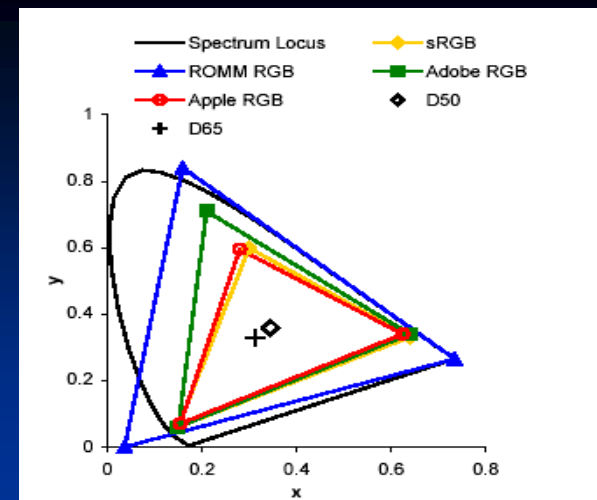


TABLE 3.5-2. XYZ Chromaticity Coordinates of Standard Primaries

Standard		x	y	z
CIE	R_C	0.640000	0.330000	0.030000
	G_C	0.300000	0.600000	0.100000
	B_C	0.150000	0.060000	0.790000
NTSC	R_N	0.670000	0.330000	0.000000
	G_N	0.210000	0.710000	0.080000
	B_N	0.140000	0.080000	0.780000
SMPTE	R_S	0.630000	0.340000	0.030000
	G_S	0.310000	0.595000	0.095000
	B_S	0.155000	0.070000	0.775000
EBU	R_E	0.640000	0.330000	0.030000
	G_E	0.290000	0.600000	0.110000
	B_E	0.150000	0.060000	0.790000
CCIR	R_R	0.640000	0.330000	0.030000
	G_R	0.300000	0.600000	0.100000
	B_R	0.150000	0.060000	0.790000



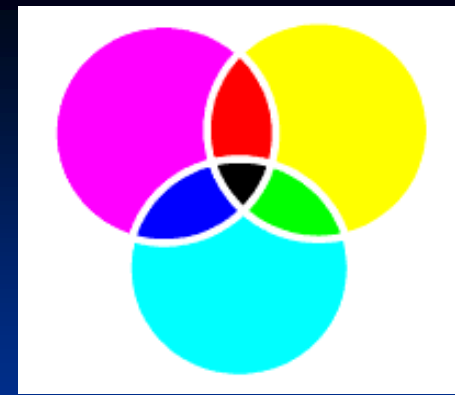
RGB
R

G

B



CMY



Farebné filtre

Farba telies - farby sa ukladajú na seba, svetlo musí prejsť vrstvami (filtrami) a odraziť sa od podkladu

Komplementárny model k RGB:

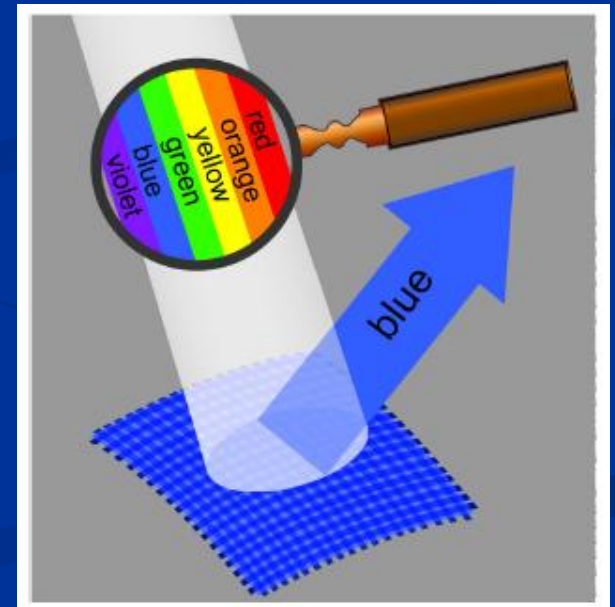
$$C = 1 - R$$

$$M = 1 - G$$

$$Y = 1 - B$$

Subtraktívne skladanie farieb

pridávaním pigmentu tvorí tmavšiu farbu



CMYK

Pri tlači sa používa CMYK (black)

Nemusia sa tlačiť 3 farby na seba - ušetrí sa na drahých farebných náplniach

Čierna sa tlačí samostatne

CMYK (K, black)

$$K^* = \min(1-R, 1-G, 1-B)$$

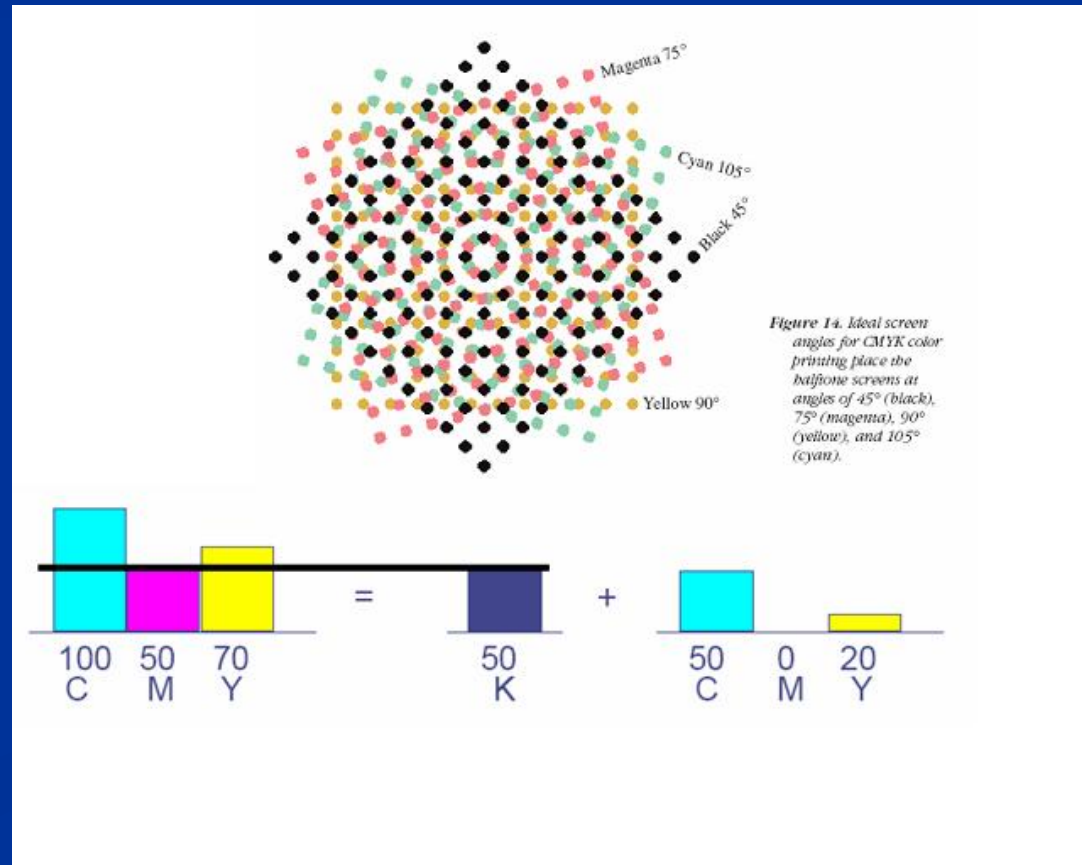
$$C = 1 - R - uK^*$$

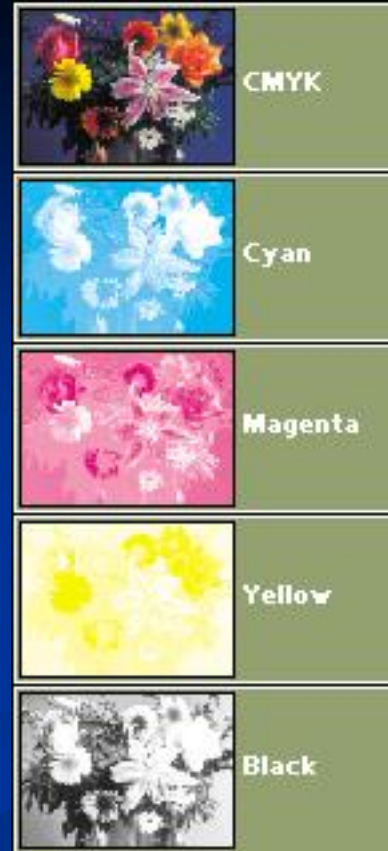
$$M = 1 - G - uK^*$$

$$Y = 1 - B - uK^*$$

$$K = bK^*$$

$$0 \leq u, b \leq 1$$





C

M

K

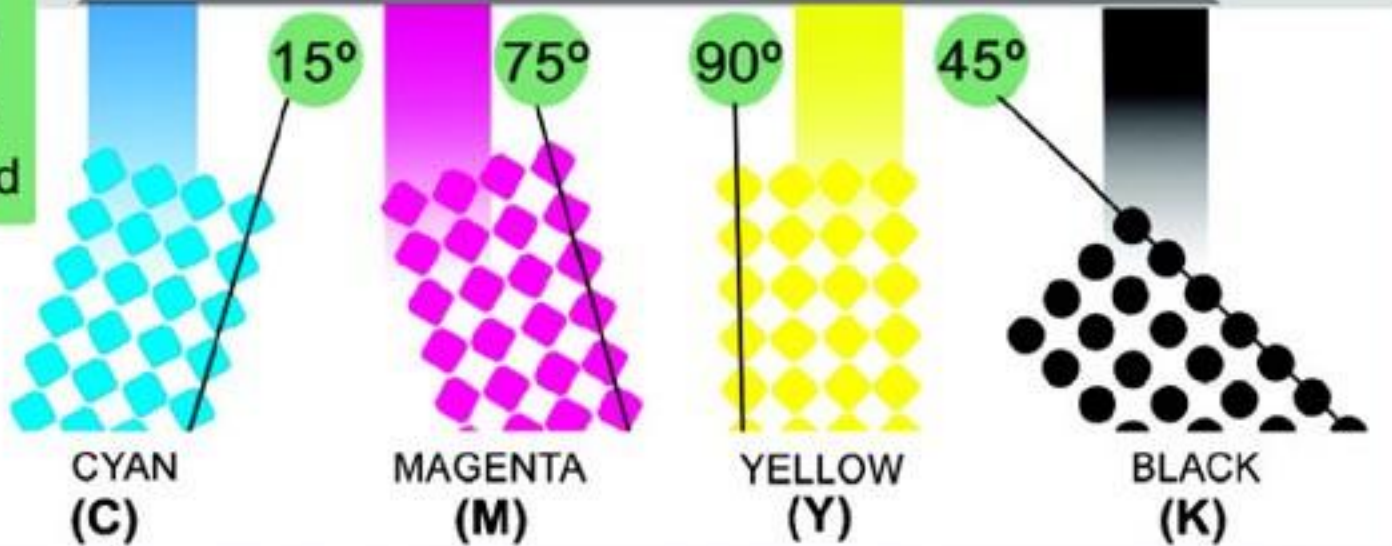
Y



Four color process printing

Print head

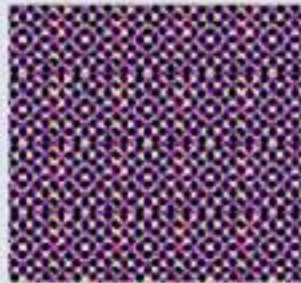
Traditional screen angles for CMYK blend



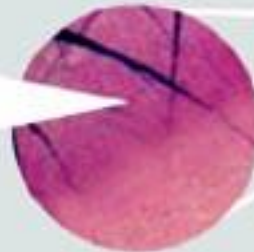
CMYK combined to create a blend



Reduced



Reduced further



section of final image



Four color process separations

Separating an image into the four process colors



Cyan



Magenta



Yellow



Black



Modely farieb “triedy Y”

Televízne a video štandardy

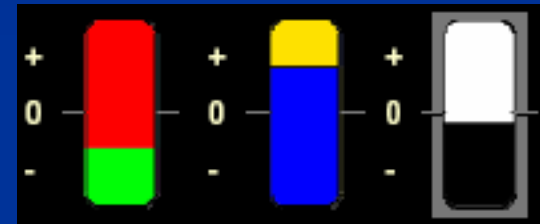
YIQ – NTSC

YUV – PAL

YCbCr – digital video

YPbPr – analógová TV

YCC – Kodak



Farebná zložka oddelená od jasovej (Y)

Farebná zložka: zeleno/červený kanál

modro/žltý kanál

Vo všeobecnosti:

$$Y' = 0.299R' + 0.587G' + 0.114B'$$

$$C_1 = a_1(R' - Y') + b_1(B' - Y')$$

$$C_2 = a_2(R' - Y') + b_2(B' - Y'),$$

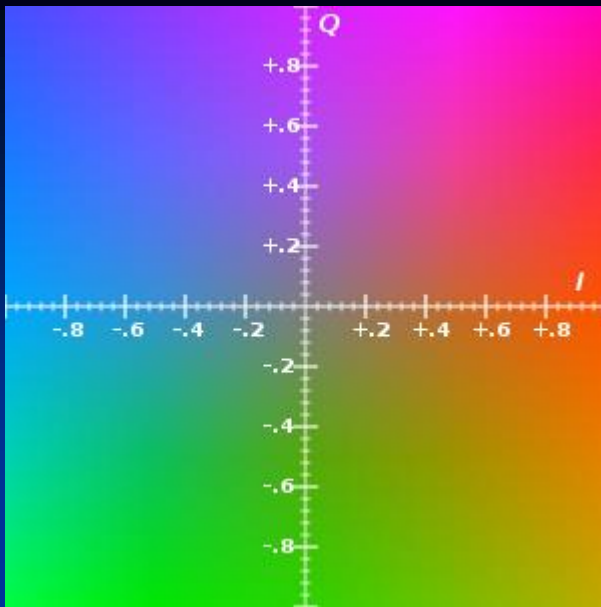
$$\begin{bmatrix} Y' \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = M * \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}$$

YIQ

Y – luma

I - in-phase, (orange-blue range)

Q – quadrature (purple-green range)



- 1950 NTSC štandard
- kompatibilita s jednofarebným TV
- väčšia šírka pásma pre Y ako pre I Q.
- oddelená jasová zložka – manipulácia bez ovplyvnenia farebnej zložky (histogram equalization)
- vnemovo neuniformné – Euklidovská vzdialenosť nefunguje
- Gama korekcia aplikovaná na lineárny RGB, vážený súčet nelineárnych komponentov RGB -> luma Y



YIQ



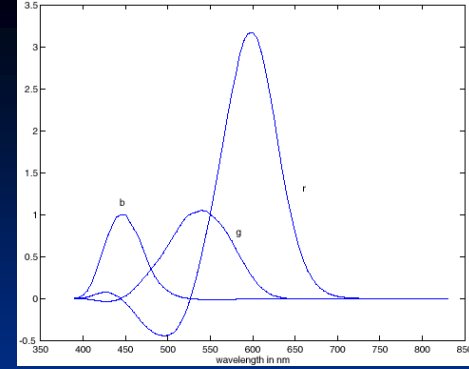
Y

I

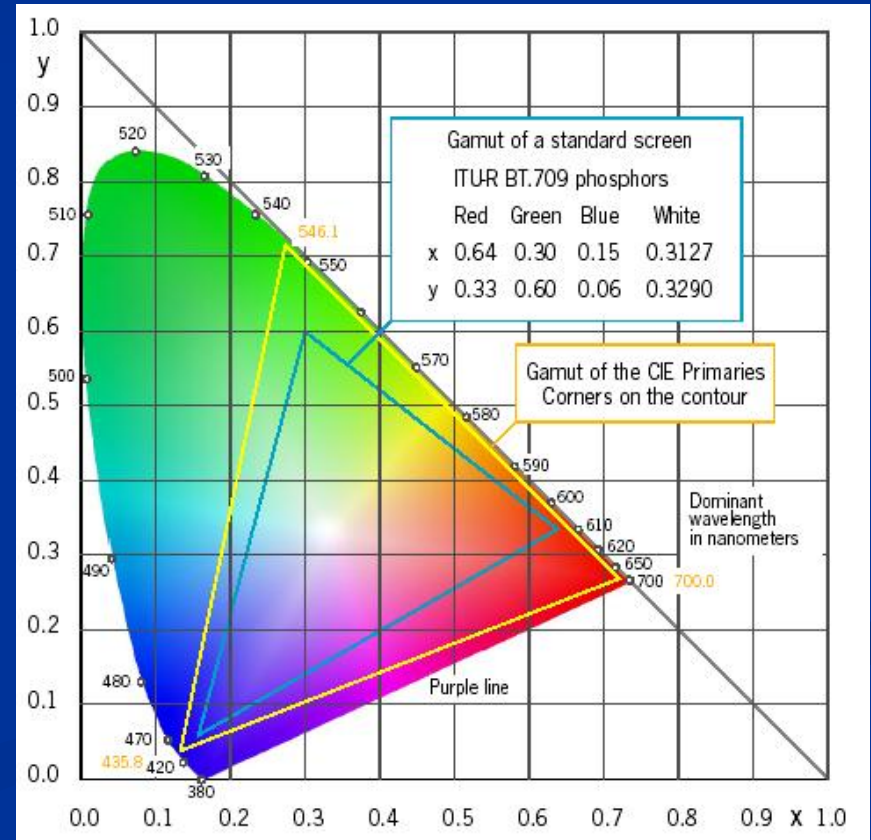
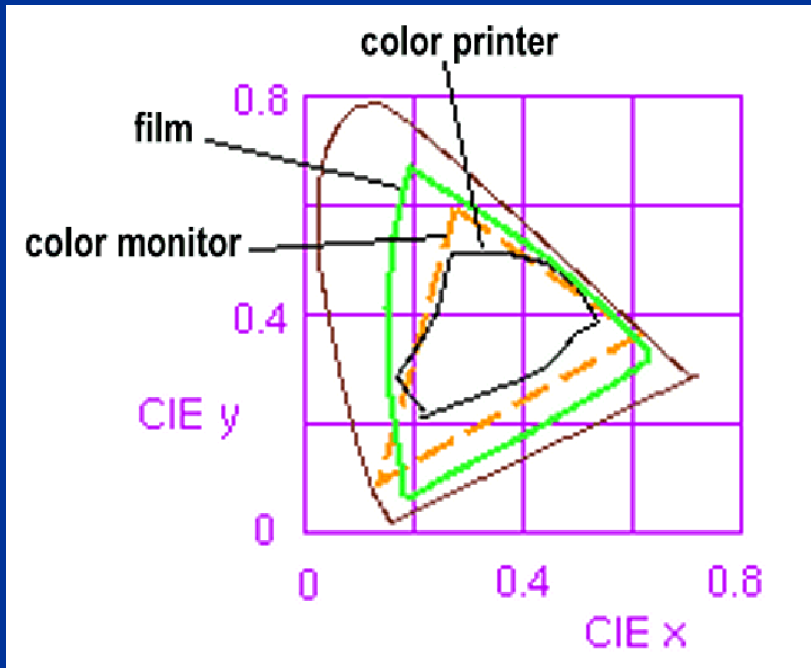


Q

Gamut (rozsah)



Priestor farieb dosiahnuteľných (zobraziteľných) daným zariadením



Televízne normy a gamut

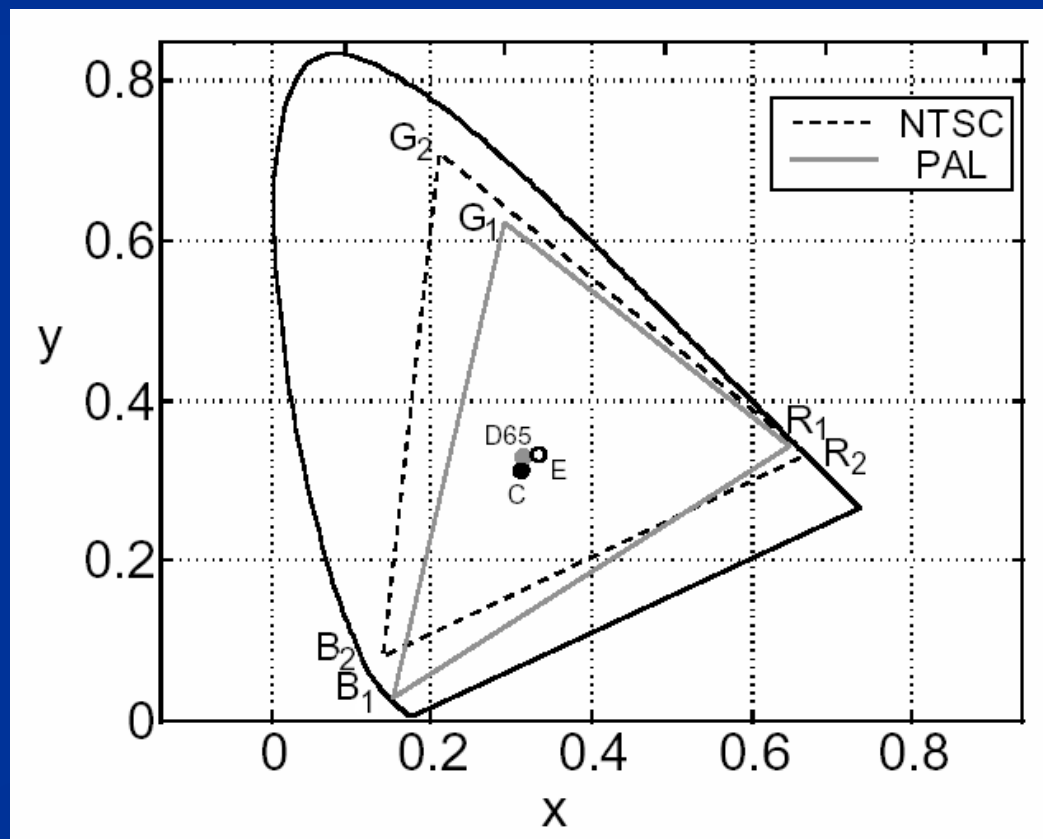
R_1 G_1 B_1 – primárne farby v norme PAL

D65 – referenčná biela

Norma NTSC

R_2 G_2 B_2

CIE C



Color space	Color mixing	Primary parameters	Used for	Pros and cons
RGB	Additive	Red, Green, Blue		Easy but wasting bandwidth
CMYK	Subtractive	Cyan, Magenta, Yellow, Black	Printer	Works in pigment mixing
YCbCr YPbPr	additive	Y(luminance), Cb(blue chroma), Cr(red chroma)	Video encoding, digital camera	Bandwidth efficient
YUV	additive	Y(luminance), U(blue chroma), V(red chroma)	Video encoding for NTSC, PAL, SECAM	Bandwidth efficient
YIQ	additive	Y(luminance), I(rotated from U), Q(rotated from V)	Video encoding for NTSC	Bandwidth efficient

Užívateľsky orientované modely

Analógia s maliarskym pohľadom
(odtieň, sýtosť, jas)

Vhodné pre vizualizáciu (color maps)

Nelineárny prevod z/do RGB

Tvar: kužeľ (aj dvojitý), ihlan, niekedy valec

Zmena
odtieňa



sýtosť

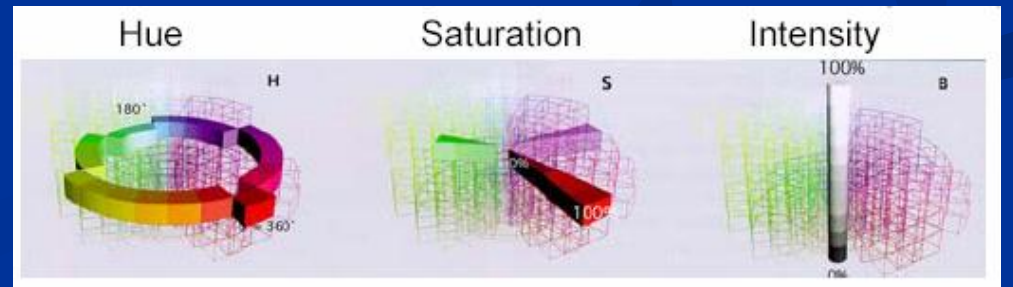
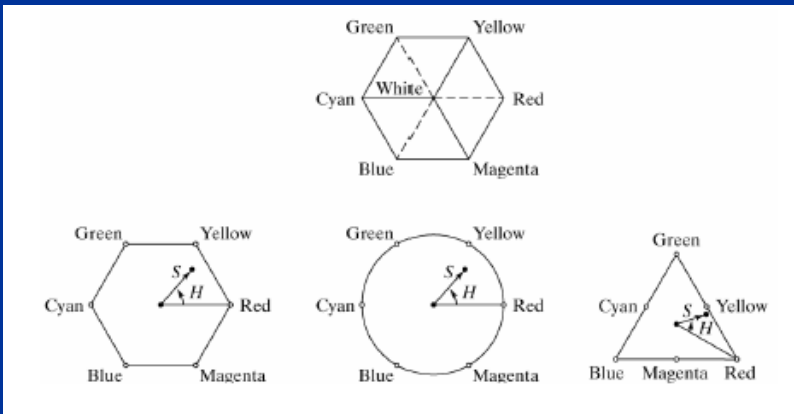
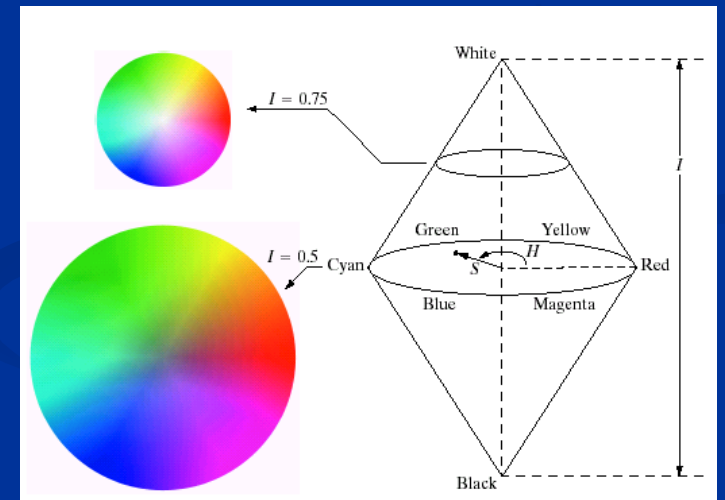
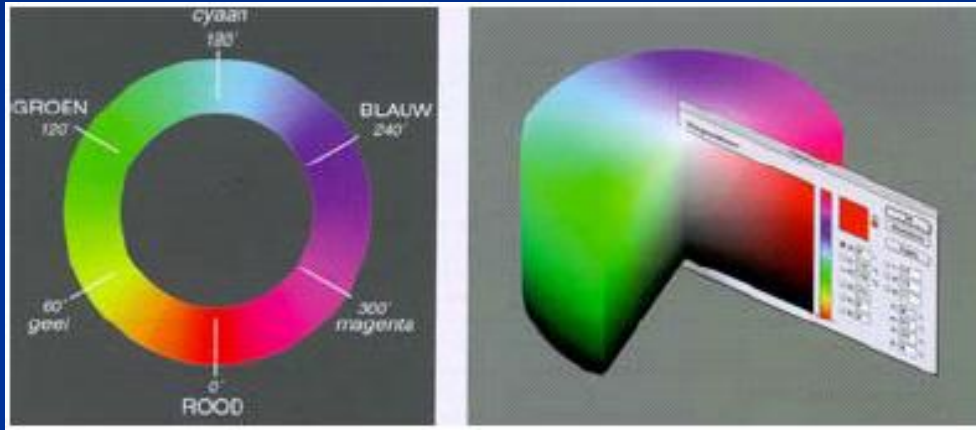
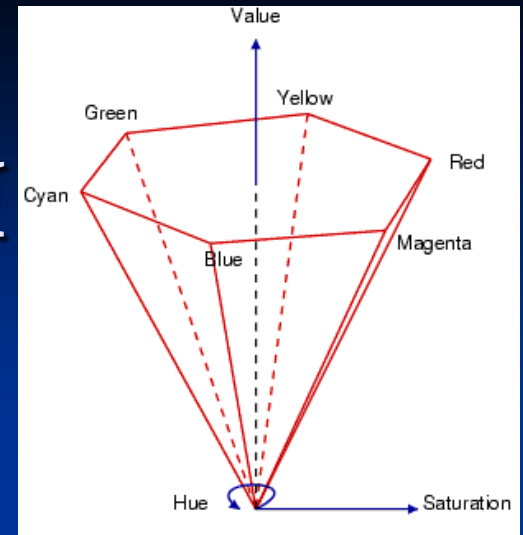


jasu



Tvary

HSL, HSV, HSI

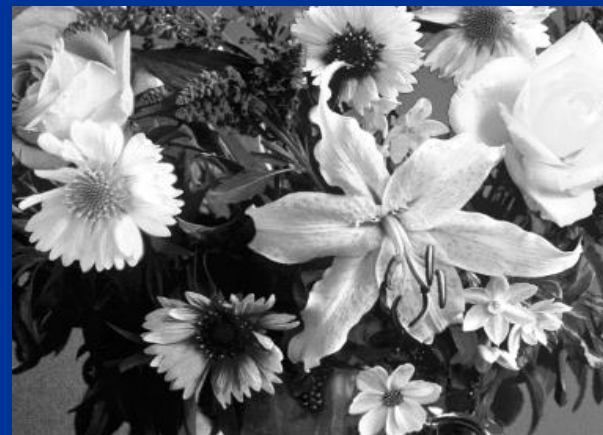
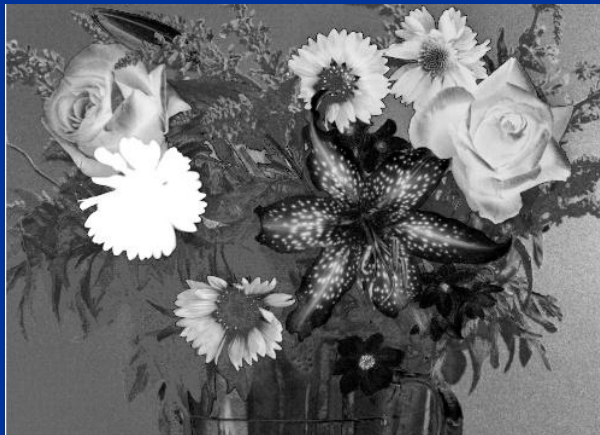


HSV Planes



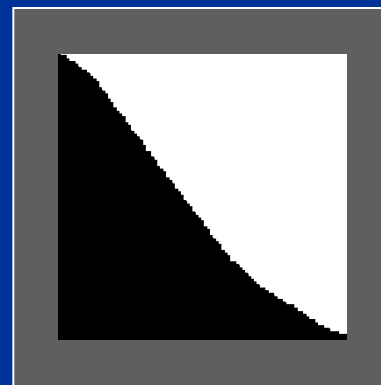
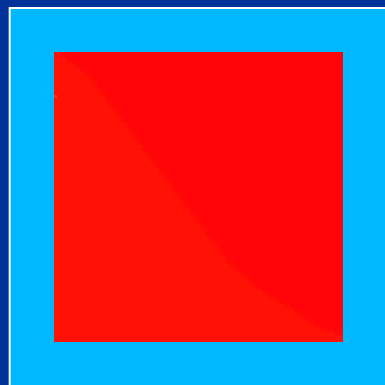
H

S



V

Problém?



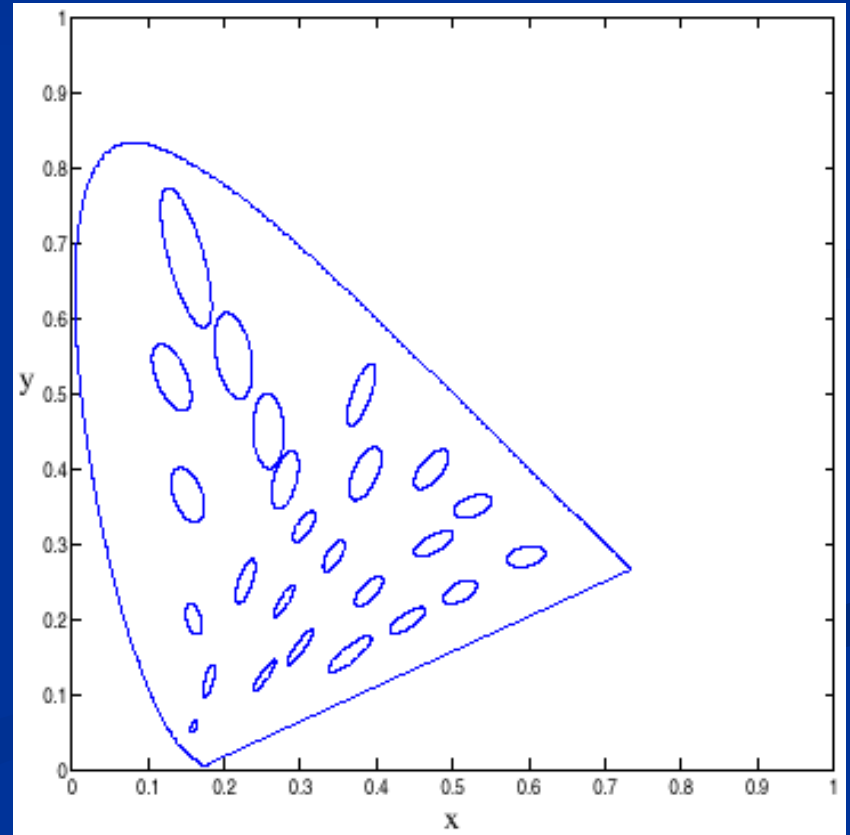
$$H = 1^\circ$$

$$H = 359^\circ$$

McAdamove elipsy

- V doteraz spomínaných modeloch:
- Euklidovská vzdialenosť farieb nezodpovedá vizuálnej „vzdialenosti“

McAdamove elipsy v xy –
pre pozorovateľa
nerozlíšiteľné farby

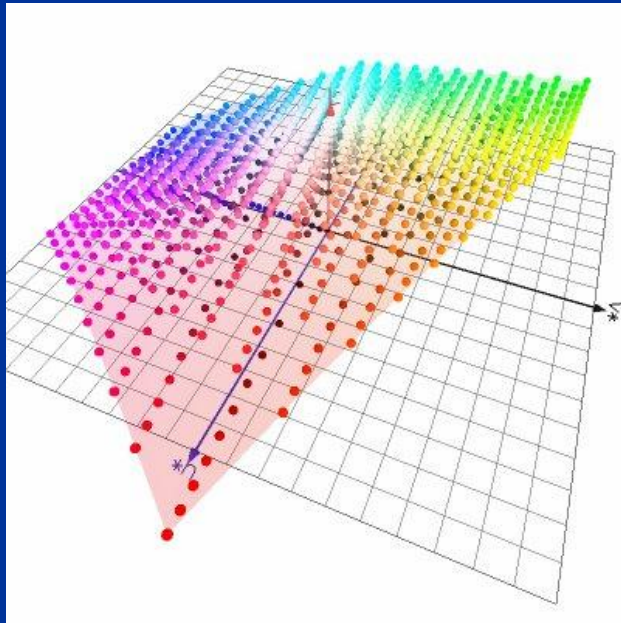


CIE $L^*u^*v^*$

L^* - jas

u^* , v^* - farebné súradnice

n – súradnice bieleho bodu



$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{ak } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \\ 903.3 \frac{Y}{Y_n} & \text{ak } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$u^* = 13L^* (u' - u'_n)$$

$$v^* = 13L^* (v' - v'_n)$$

CIE L*u*v*

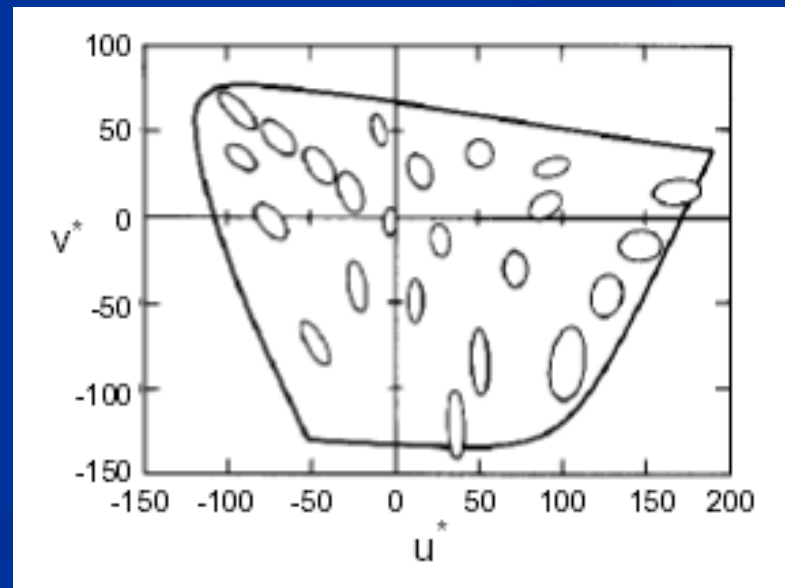
Polárne súradnice

Farebnosť

Odtieň ($u, v > 0$)

$$C^* = \sqrt{u^{*2} + v^{*2}}$$
$$h_{uv} = \arctan\left(\frac{v^*}{u^*}\right)$$

McAdamove elipsy



CIE L*a*b*

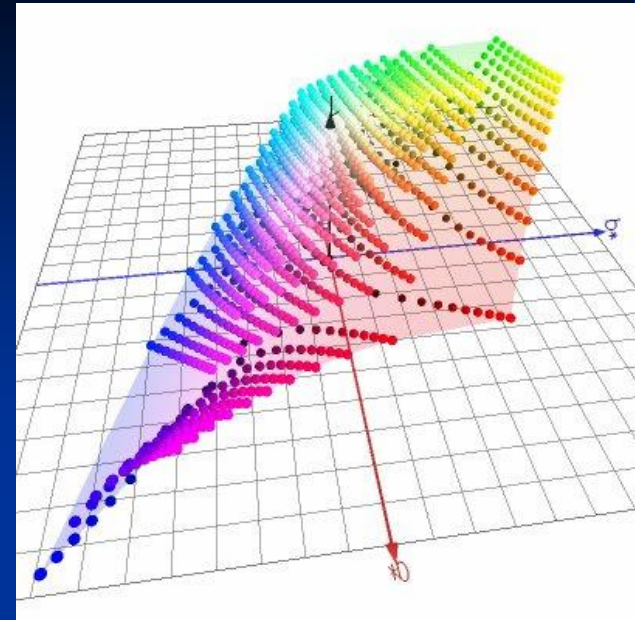
Color oponent space

L* - jas výpočet ako pri CIE L*u*v*

a*, b* - farebné súradnice

n – súradnice bieleho bodu

Používaný v priemysle



$$a^* = 500 \left(f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right)$$

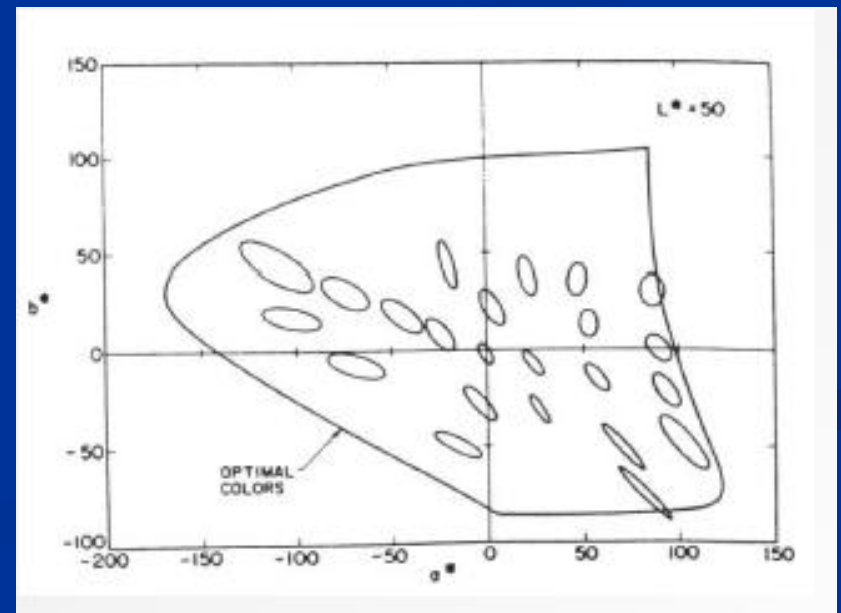
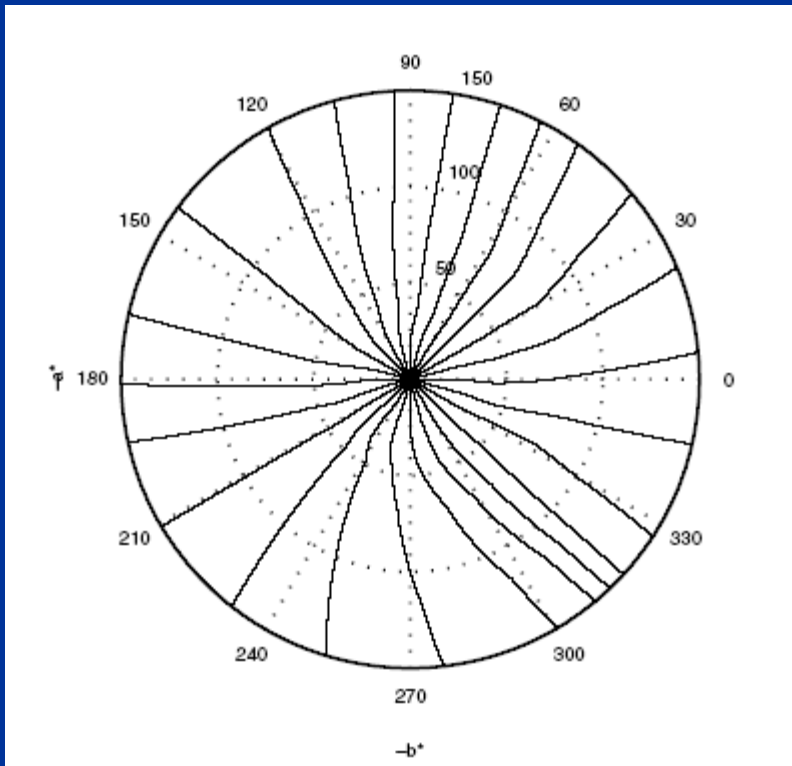
$$b^* = 200 \left(f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & \text{ak } t > 0.008856 \\ 7.787t + \frac{16}{116} & \text{ak } t \leq 0.008856 \end{cases}$$

CIE L*a*b*

Polárne súradnice
Farebnosť
Odtieň ($a, b > 0$)

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$
$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$



Vzdialenosť farieb

Euklidovská vzdialenosť

CIE L*a*b*

$$\begin{aligned}\Delta E &= \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \\ &= \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta C^{*2} + \Delta h_{ab}^2}\end{aligned}$$

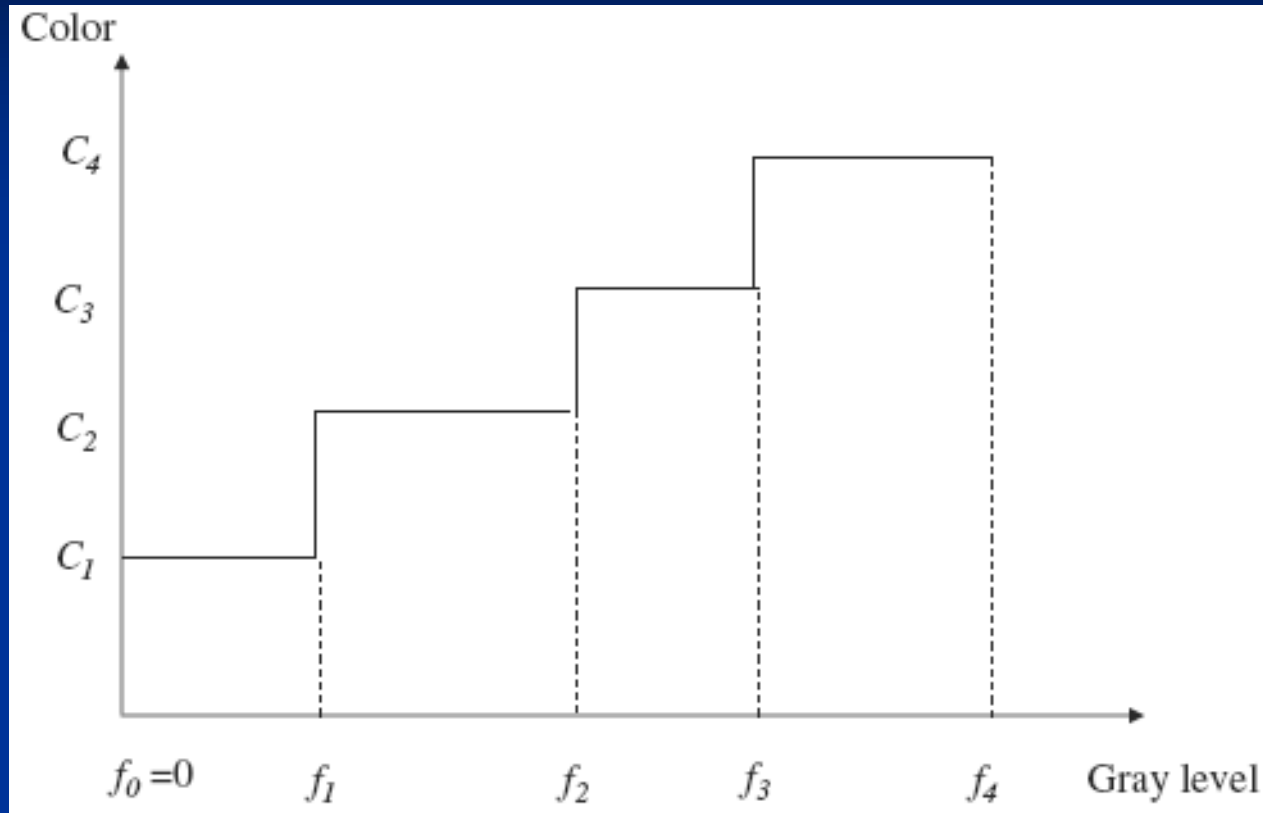
CIE L*u*v* podobne

ΔE_{Lab}^*	Effect
< 3	Not perceptible
$3 < 6$	Perceptible, but acceptable
> 6	Not acceptable

Zobrazovanie Pseudo-farby

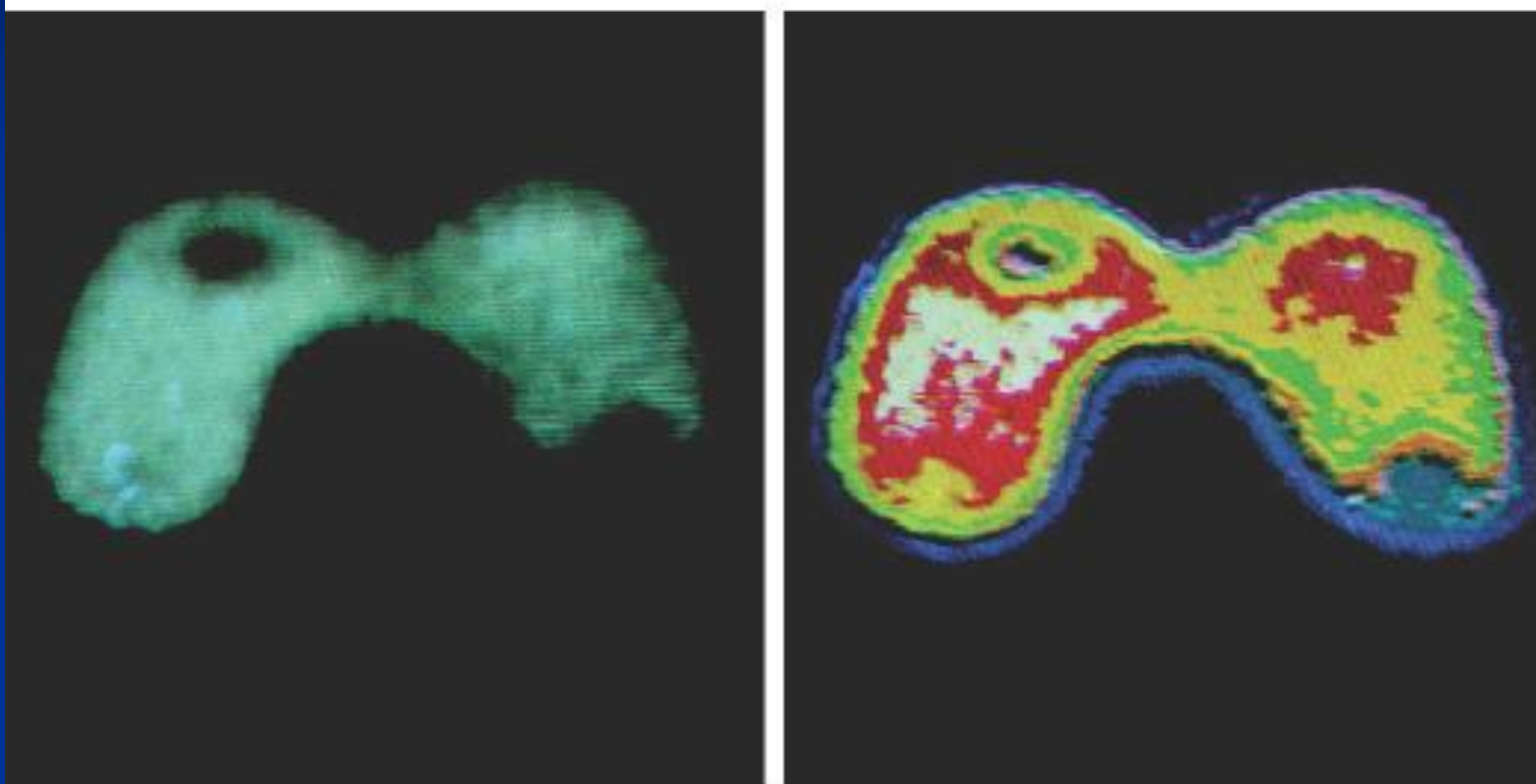
- **Intensity slicing:** Zobrazí rôzne odtiene šedej ako rôzne farby
- Užitočné vo vizualizácii medicínskych, vedeckých, vegetačných obrazov
- Ak nás zaujímajú príznaky v určitom rozsahu intenzít alebo niekoľkých intervaloch intenzít
- **Frequency slicing:** Dekompozícia obrazu do rôznych frekvenčných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



b.

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

Príklad 2

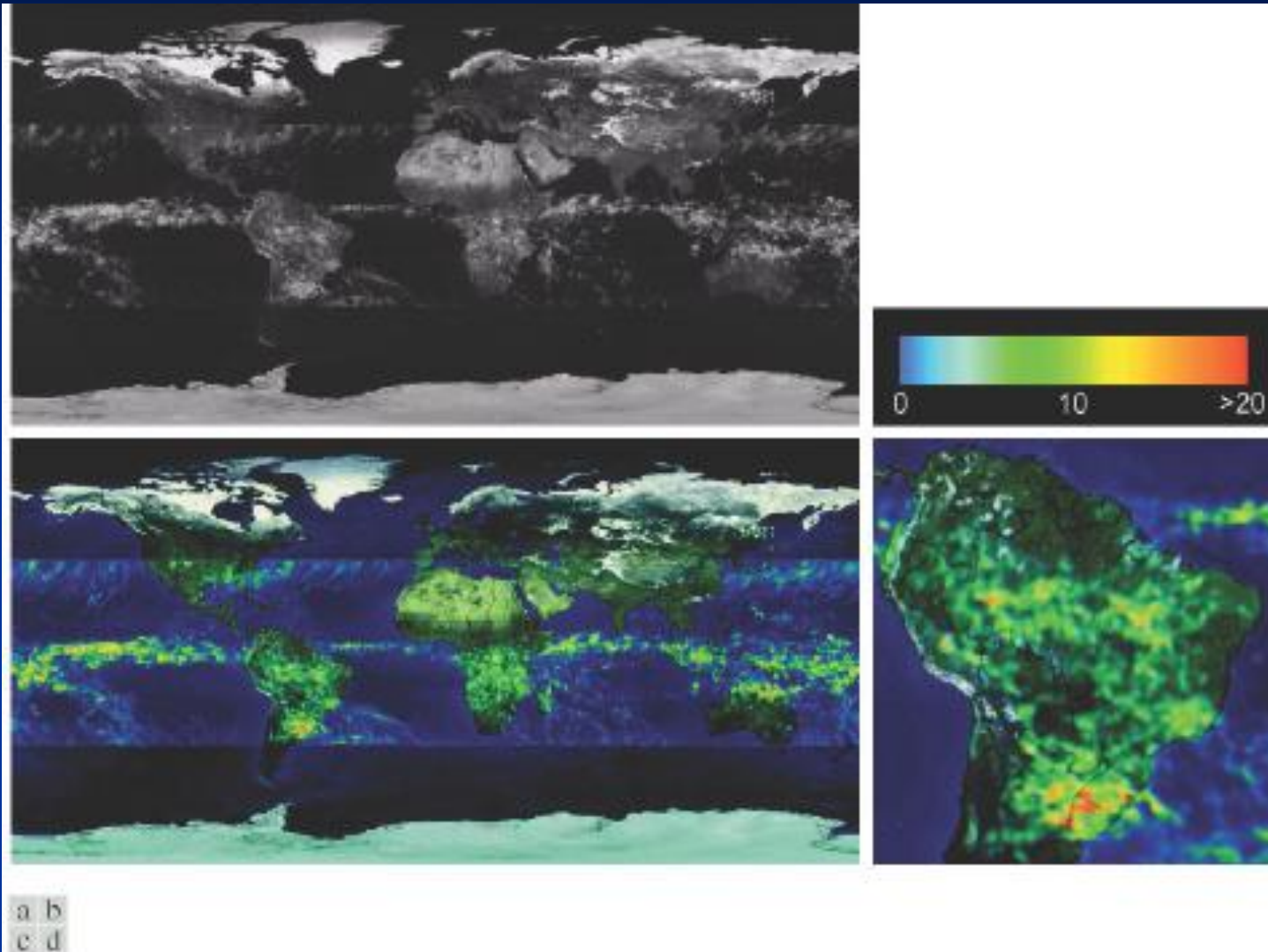


FIGURE 6.22 (a) Gray-scale image in which intensity (in the lighter horizontal band shown) corresponds to average monthly rainfall. (b) Colors assigned to intensity values. (c) Color-coded image. (d) Zoom of the South America region. (Courtesy of NASA.)

Pseudo-farba viacerých obrazov

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

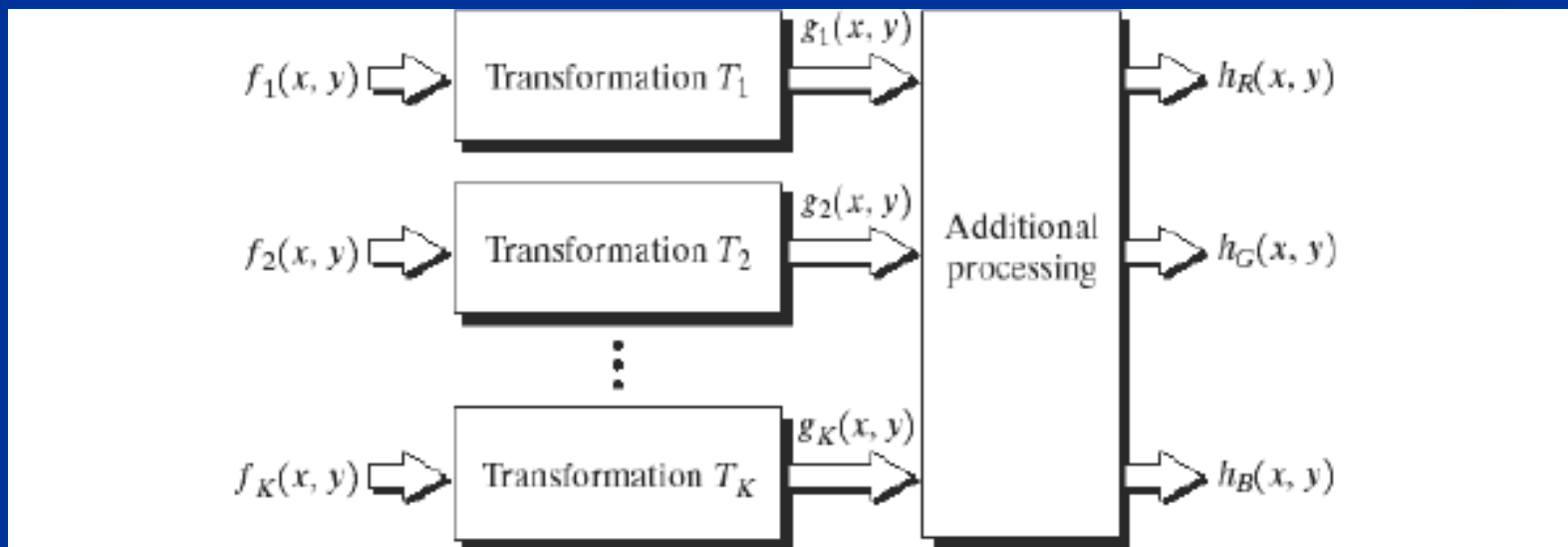


FIGURE 6.26 A pseudocolor coding approach used when several monochrome images are available.

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

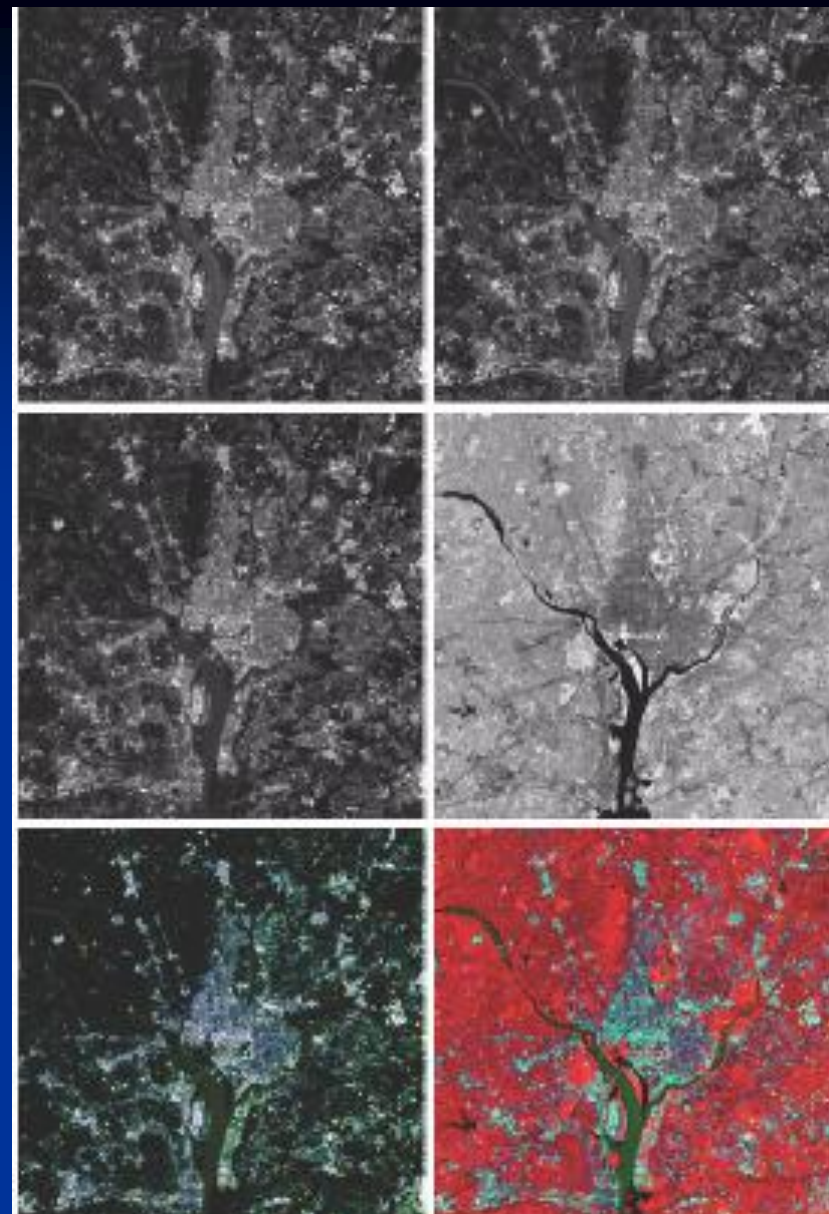


FIGURE 6.27 (a)–(d) Images in bands 1–4 in Fig. 1.10 (see Table 1.1). (e) Color composite image obtained by treating (a), (b), and (c) as the red, green, blue components of an RGB image. (f) Image obtained in the same manner, but using in the red channel the near-infrared image in (d). (Original multispectral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

Príklad

(a) Pseudo-farebné
zobrazenie mesiaca
Jupitera

(b) Priblíženie.

(Courtesy of NASA.)

