



Základy zobrazování, fotometrie a kolorimetrie

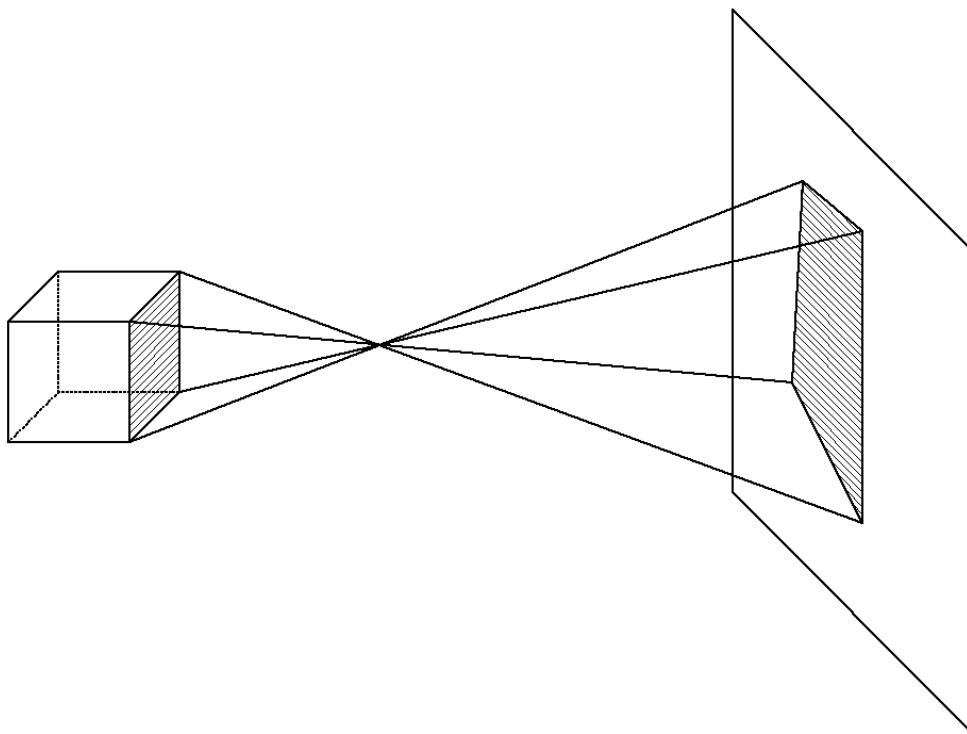


Zobrazovací systémy



Zobrazení 3D scény na 2D roviny - projekce, promítání

Obecně - 3D scéna na 3D pole a řez 2D rovinou





Zoom:

- aberace (barevná vada)
- rozostření rohů
- vinětace (ztmavení rohů)
- poduškovité či soudkovité zkreslení
- světelnost



ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



Objektivy - typ

zorný úhel

teleobjektiv

$< 20^\circ$

dlouhoohniskový

$20^\circ - 30^\circ$

normální

$40^\circ - 55^\circ$

širokoúhlý

$> 55^\circ$

rybí oko

cca 180°

zoom

proměnné ohnisko

Rozlišovací schopnost

standard

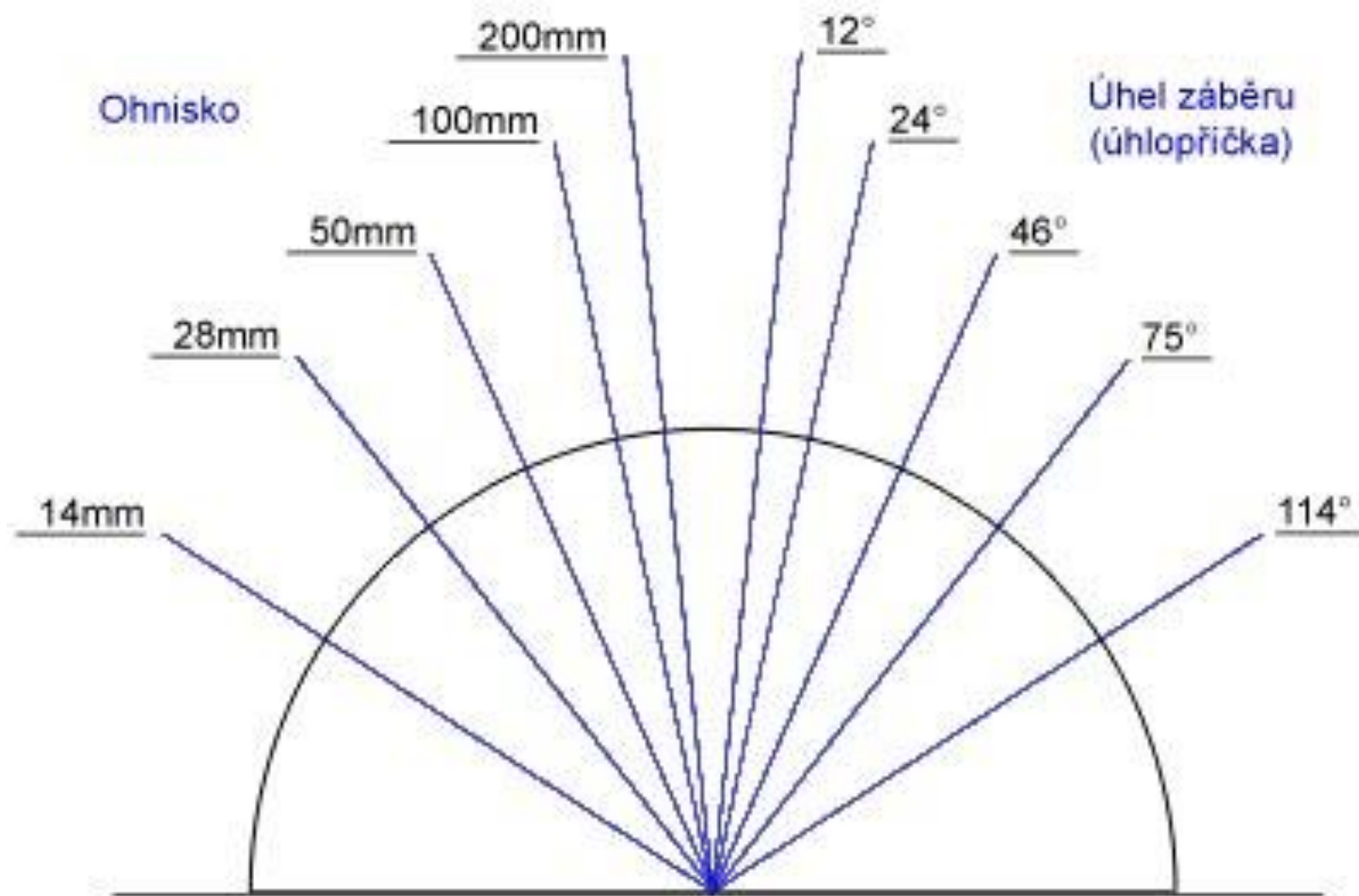
30 - 40 čar/mm

maximum

200 - 300 čar/mm

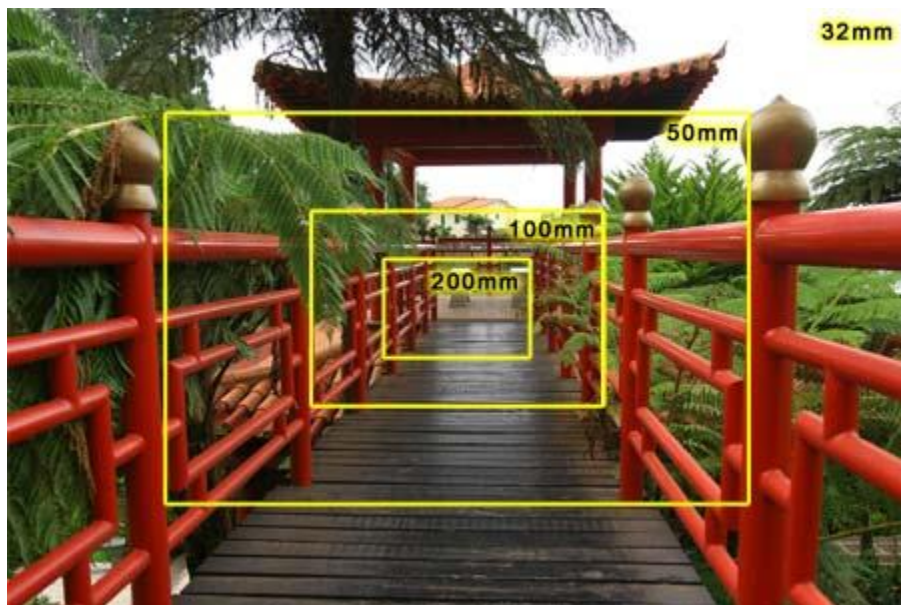


ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY





ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



Ohnisko objektivu	Zorný úhel přepočtený na 35mm
12mm	122°
24mm	84°
35mm	63°
50mm	47°
70mm	34°
105mm	23°
135mm	18°
200mm	12°
300mm	8°

Objektiv – ohnisková délka



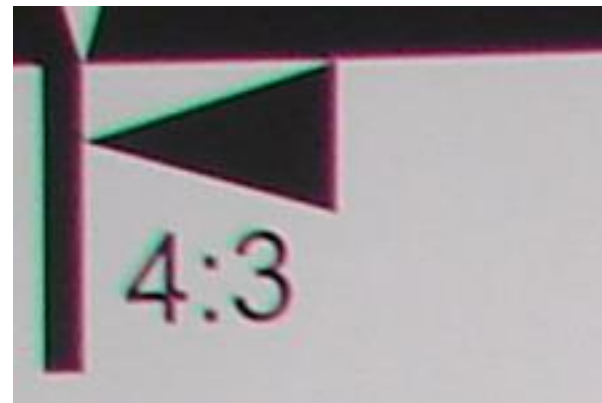
ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



Perspektiva – změna při změně ohniskové vzdálenosti



ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



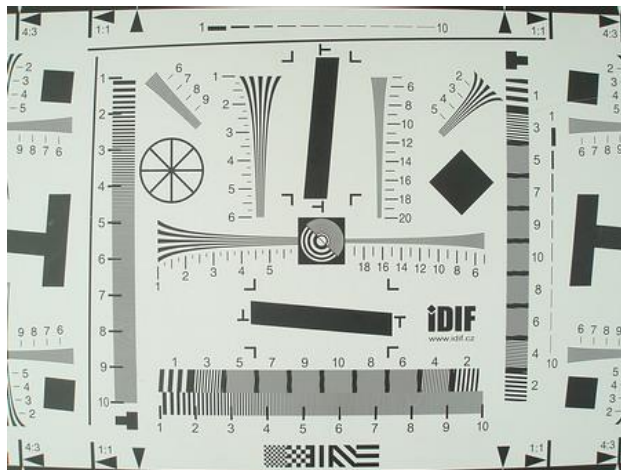
Chromatická aberace



ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



Vinětace





Základní pojmy - opakování:

předmětový prostor

obrazový prostor

ohnisko

hlavní bod, hlavní rovina

uzlový bod

optická mohutnost

paraxiální oblast - geometrická (Gaussova) optika



ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



Tenká čočka - čočková rovnice

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{l'} = \frac{1}{f}$$

hlavní rovina

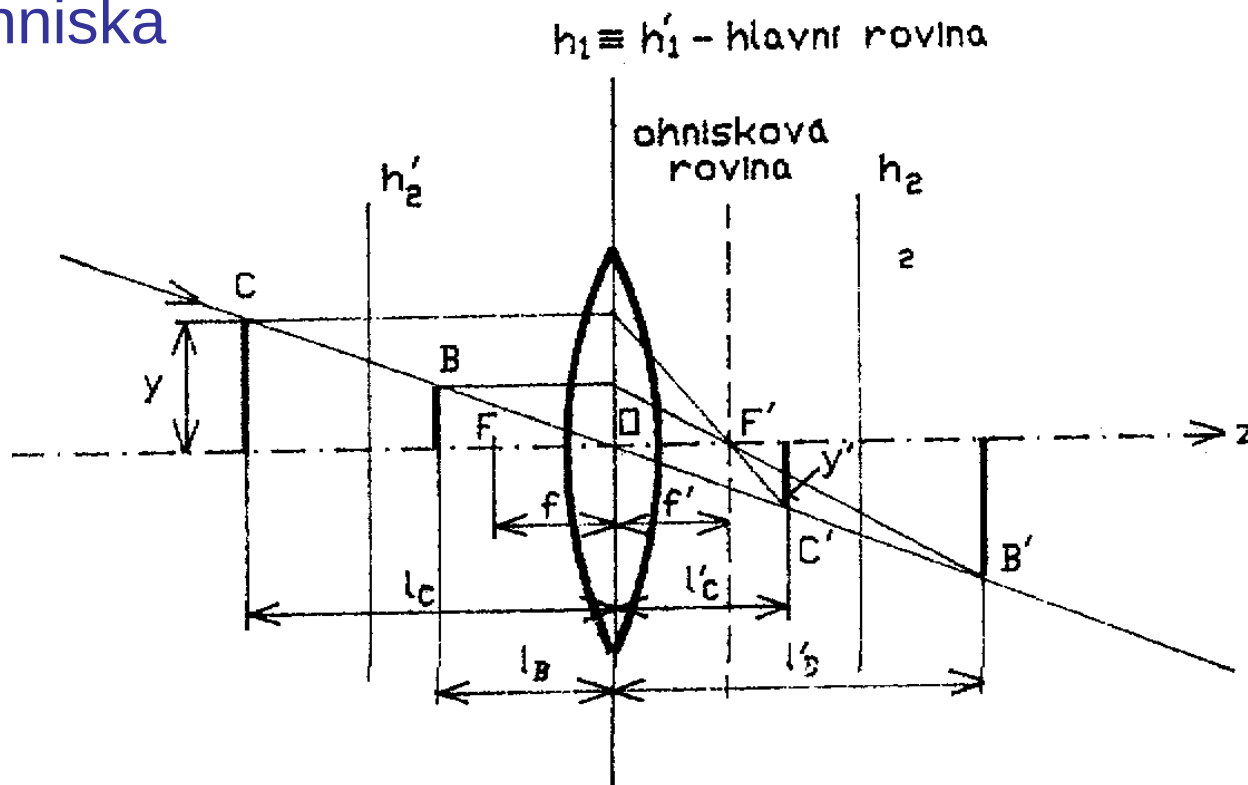
hlavní body

ohniska

příčné zvětšení $Z = \frac{y'}{y} = \frac{l'}{l}$

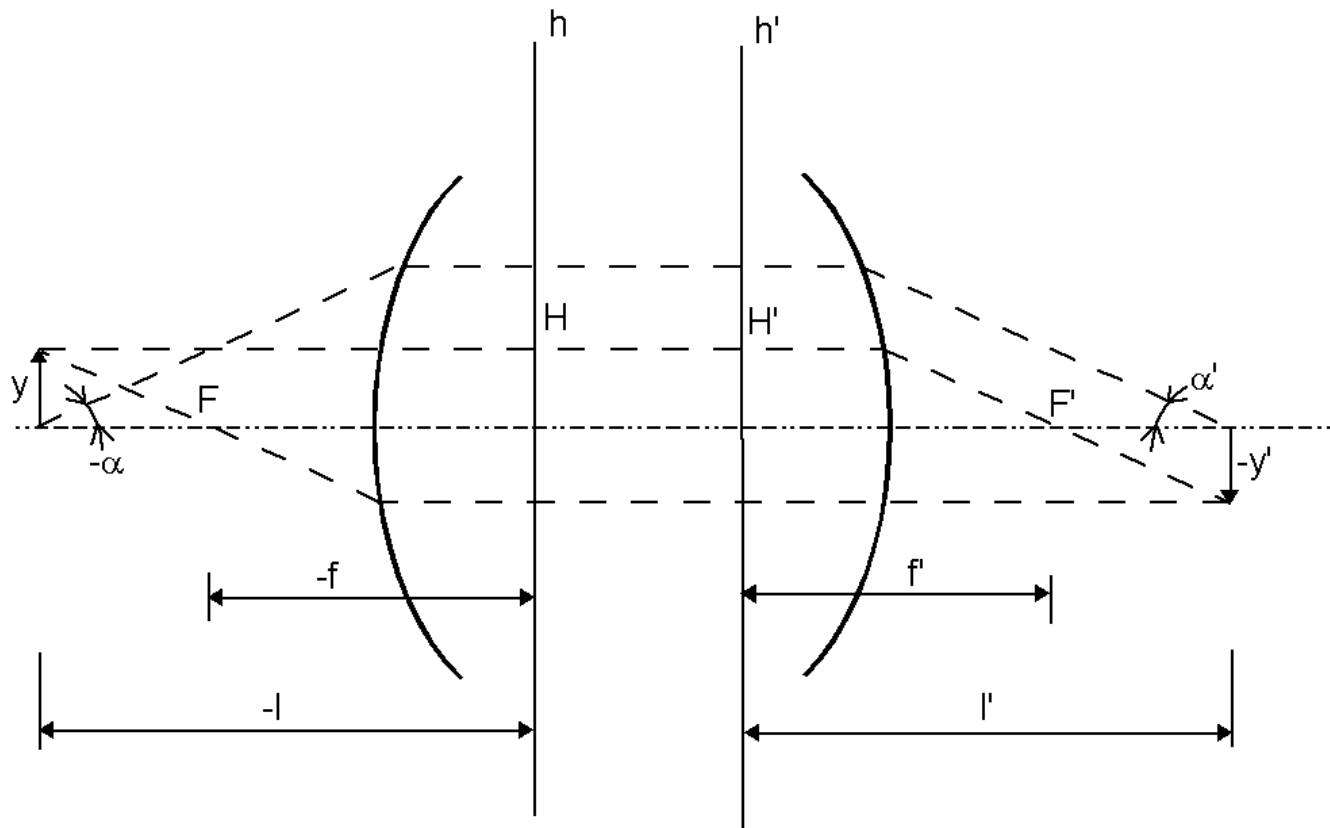
$$y' = \frac{fy}{z + f}$$

$$z' = -\frac{ff'}{z + f} + f'$$





ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY

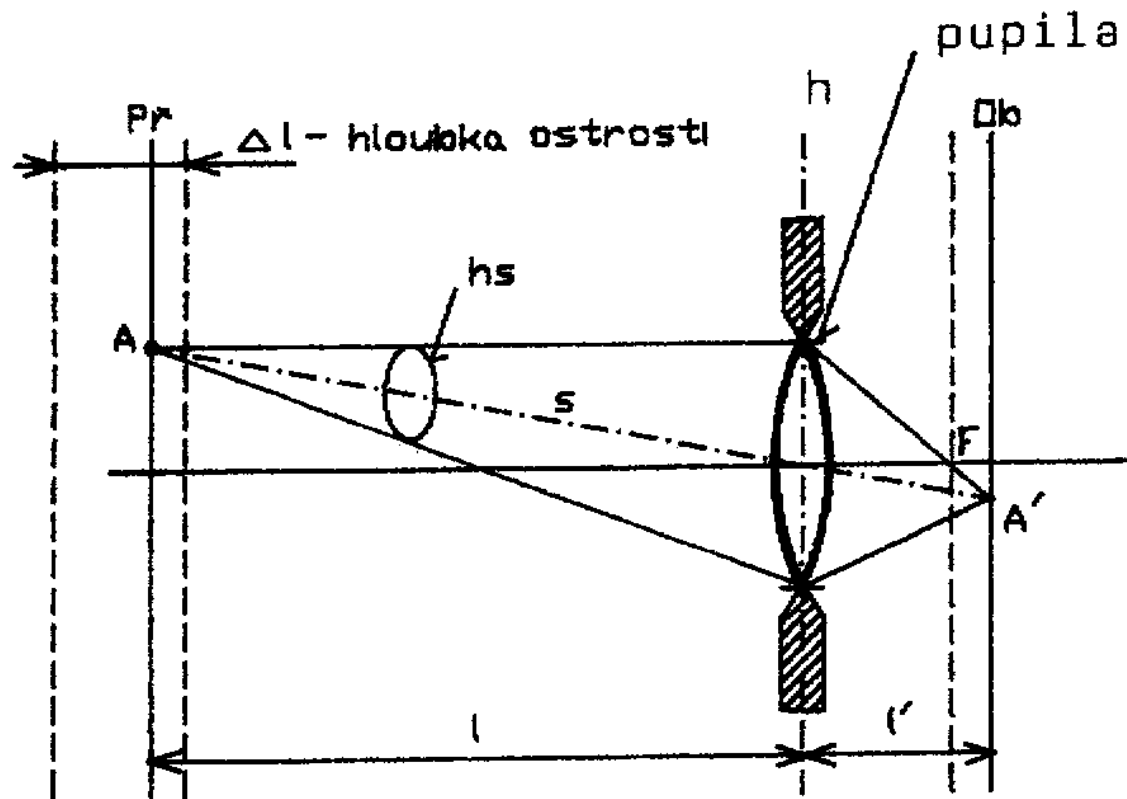


Newtonův zákon

$$f'f = (l - f)(l - f') \Rightarrow \frac{f}{l} + \frac{f'}{l'} = 1$$



Hloubka ostrosti - homocentrický svazek h_s



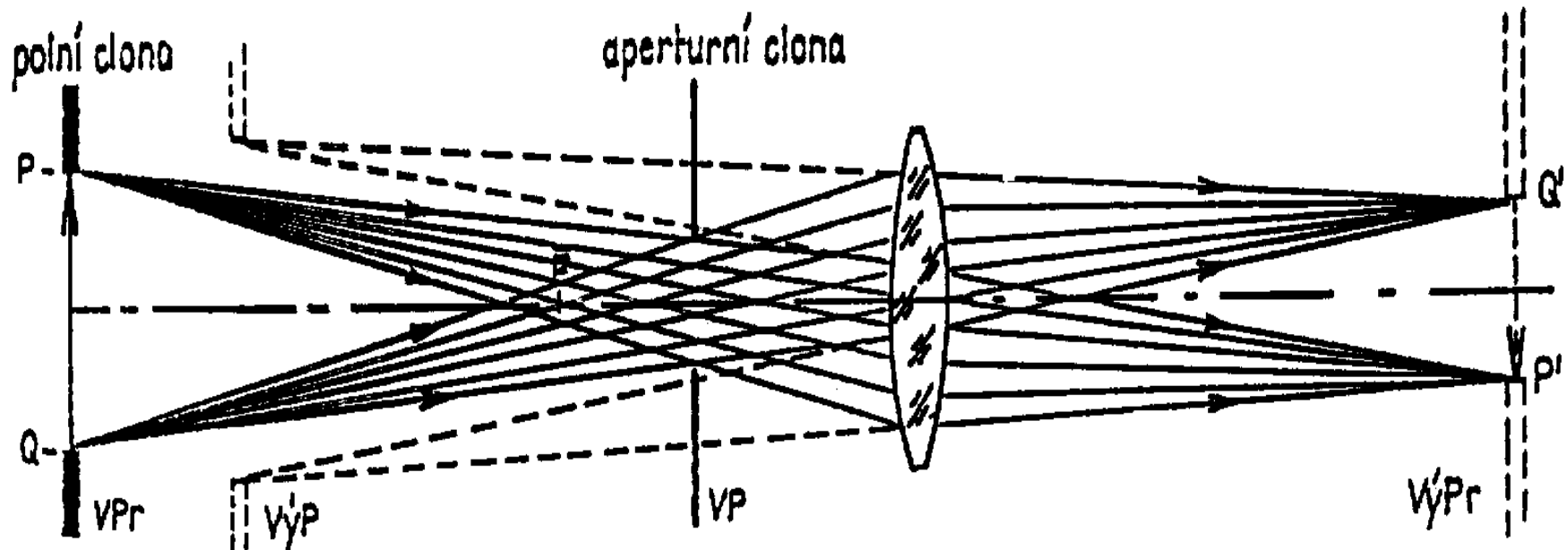
$l \gg f \Rightarrow l' \rightarrow f$ středový průmět, perspektiva



ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY

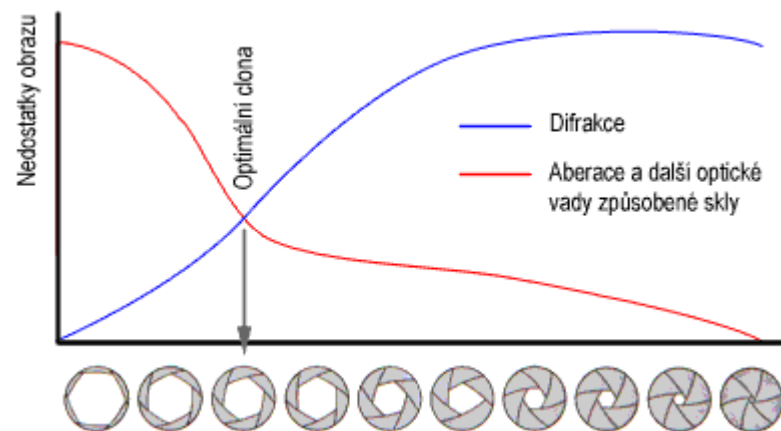


Další prvky - clony, děliče svazku, filtry,





ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY

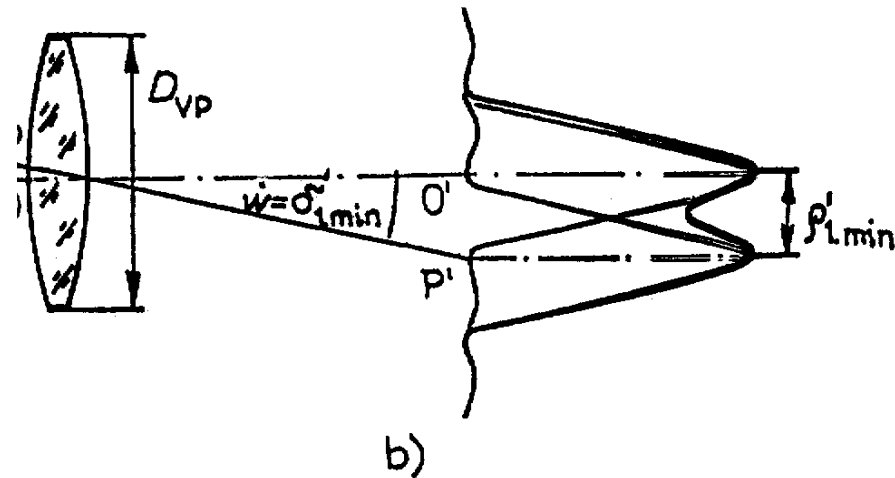
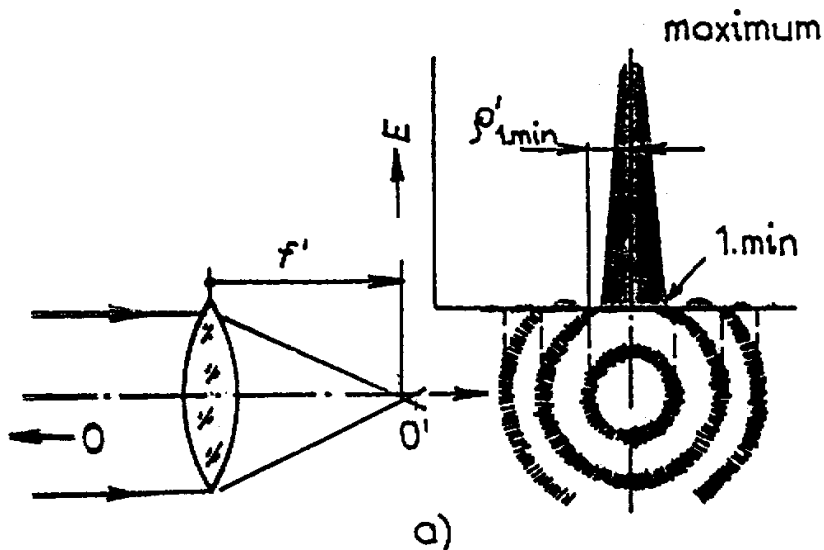




ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



Omezení rozlišovací schopnosti - difrakce na vstupním otvoru
„diffraction limited“



Airyův kroužek - střed 83,5 %

$$\rho = 1,22 \lambda k, k = \frac{f'}{D} \text{ k- clonové číslo}$$

Př. $k = 4,5:1$, $\lambda = 555 \text{ nm}$, $r = 3 \text{ } \mu\text{m}$ tj. 330 čar/mm



ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



Středové promítání

H - hlavní bod

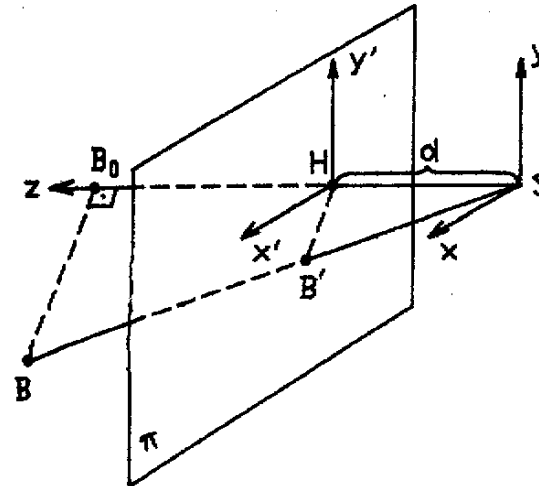
S - střed promítání

B - promítaný bod

B' - středový průmět bodu B

d - vzdálenost

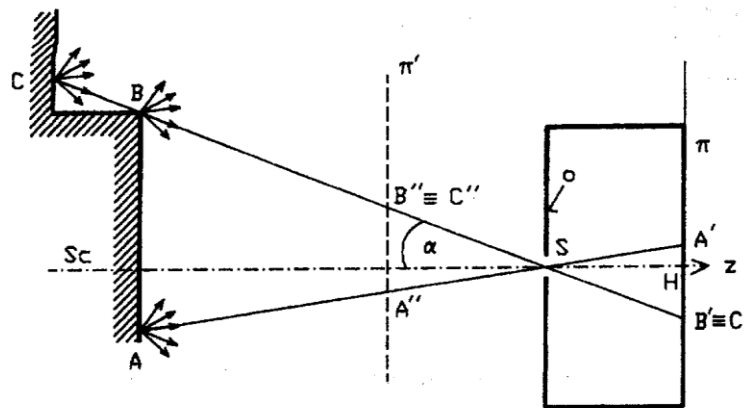
Camera obscura - dírková komora



$$x' = \frac{xd}{z}$$

$$y' = \frac{yd}{z}$$

$$z' = d$$





Reference



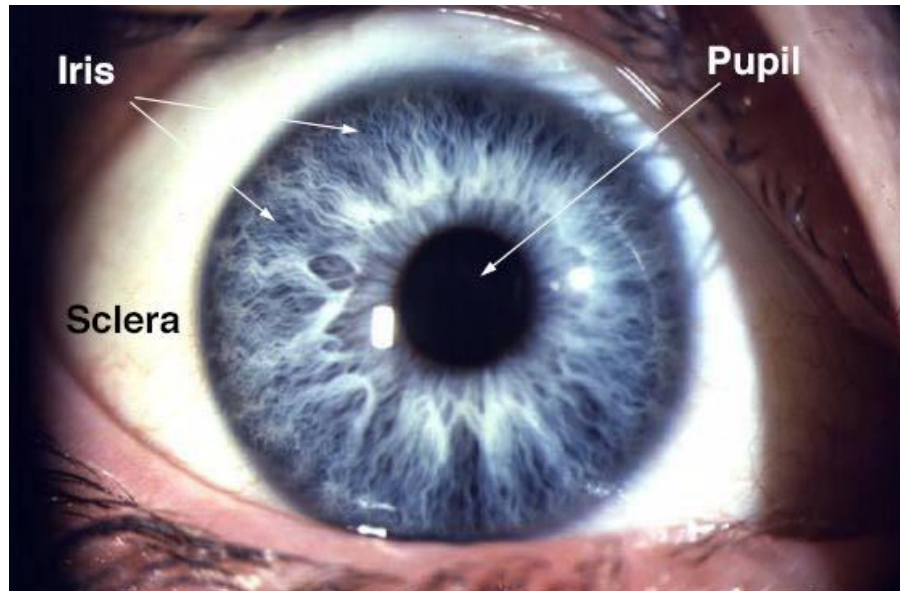
- IEEE Signal Processing Magazine, 22, 1, Jan.2005
- R. Pihan, www.fotografovani.cz
- D. Filipi, www.fotografovani.cz
- www.paladix.cz (Turčajová,
- J. Šmok, Začněte fotografovat, SNTL, 1983
- www.canon.com,
- www.nikon.com
- www.dpreview.com
- www.123dim.com, V. Bockaert
- Schroder, Technická optika, SNTL, 1981



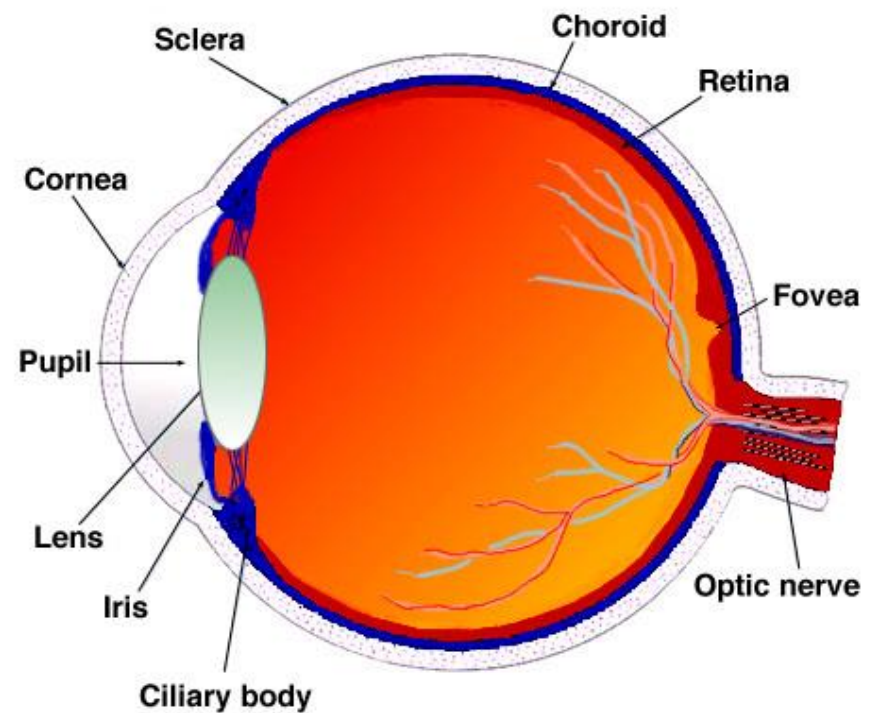
Oko jako zobrazovací systém



Funkční bloky



Řez okem





Funkční bloky



Pole receptorů - sítnice

tyčinky - skotopické čb vidění, rychlé,

čípky - větší, fotopické barevné vidění, pomalé typ L, M, S

zrakový pigment - rodopsin

adaptace - zornice, koncentrace pigmentu, prostorová sumace

sítnice - tloušťka 2 mm

- slepá skvrna dia 2mm (zrakový nerv - 800 tis. axonů)
- 120 mil. tyčinek
- 7 mil. čípků, dia 1 až 5 μm
- žlutá skvrna (fovea), ústřední jamka 34 tis. čípků
- optický nerv 800 tis. axonů
- bipolární, gangliové, horizontální a amakrinní buňky



- spektrální citlivost tyčinek a čípků - Purkyňův jev

 - fotopické a skotopické vidění

 - trichromatické vnímání barev

 - receptivní pole - sumace, laterální inhibice

- časové charakteristiky

 - kritický kmitočet blikání f_k

 - Talbotův zákon

$$\bar{L} = \frac{1}{T} \int_0^T L(t) dt \quad \text{pro} \quad f \geq f_k$$

 - Ferry-Porterův zákon

$$f_k = K_1 + K_2 \log L$$

 - L - špičková hodnota jasu



- úrovněové charakteristiky

Fechner-Weberův zákon – log převodní charakteristika

$$\frac{\Delta L}{L} = \Delta S$$

prahový kontrast $C_0 = \left(\frac{\Delta L}{L} \right) = 0,02$

rozsah osvětlení – 100 μlx až 100 klx tj. 9 řádů

minimum 2 kvanta na receptor

adaptační mechanismy: otevírání zornice - dia 2 až 8 mm

organizace receptorů na sítnici

chemické a morfologické změny

(koncentrace pigmentu)

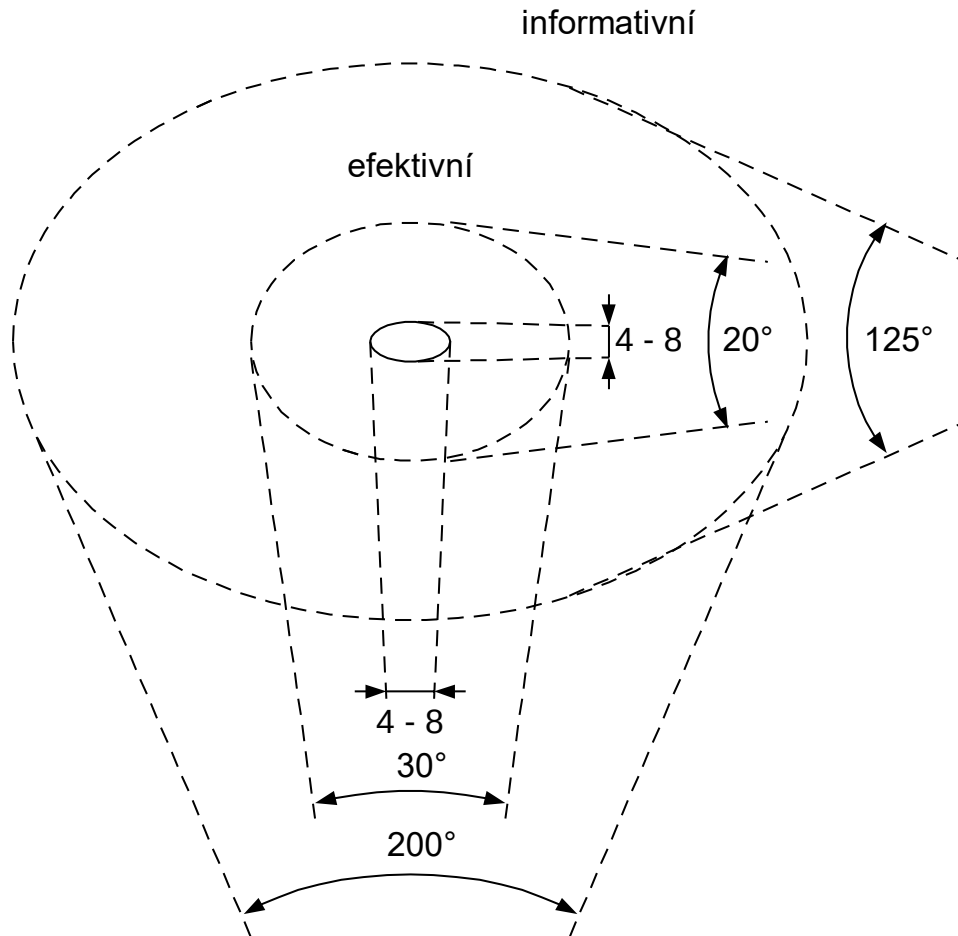
až 40 minut

dynamicky

1:10 skotopické, 1:1000 fotopické



Fyziologie – funkční parametry



- optimální formát 16:9
- vzdálenost 3 x výška
- plocha 0,8 až 1 m²
- 2035 x 1145 bodů
- rozlišení 30 c/deg ~ 2'

Zorné pole - oblasti

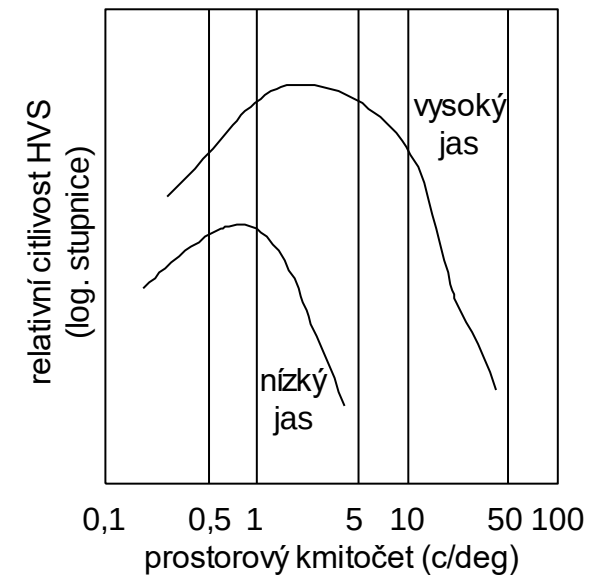
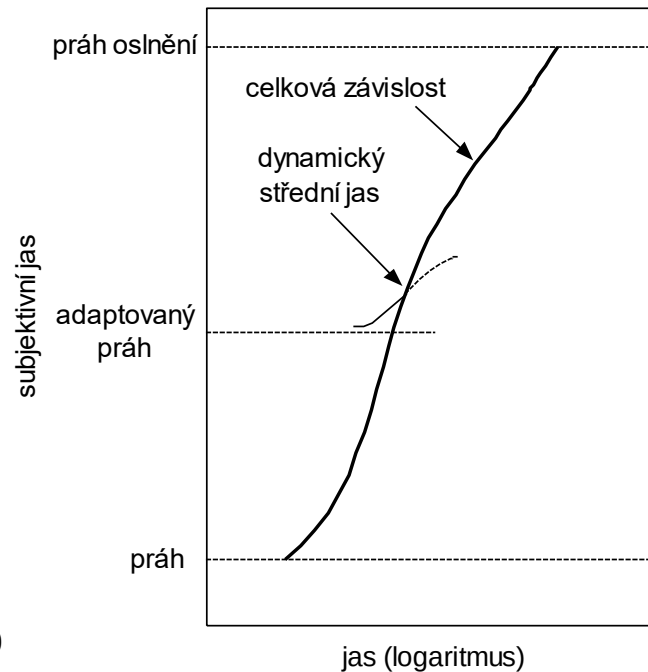
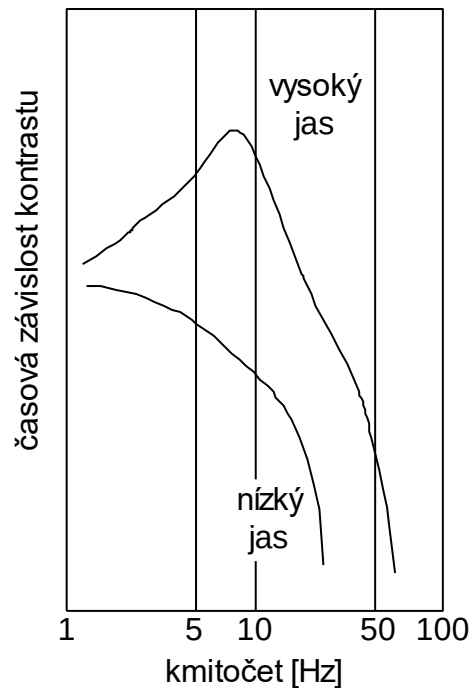


Prostorové charakteristiky

normální zorné pole	30° až 40°
zorné pole bez pohybu hlavy	25°
vnímání ucelených scén	15° až 20°
detail	2,5 μm na sítnici t.j. 1' až 1,5' tj. 10 až 12 čar/mm při 250 mm
informativní zorné pole	125°
efektivní zorné pole	20° až 30°
maximální rozlišení	4° až 8°
HDTV formát	16:9
pozorovací vzdálenost	6 x výška (SDTV), 3 x výška (HDTV)
plocha	HDTV 0,8 až 1 m ²
rozlišení	HDTV 1145 řádek, 2035 obraz. bodů/ř.

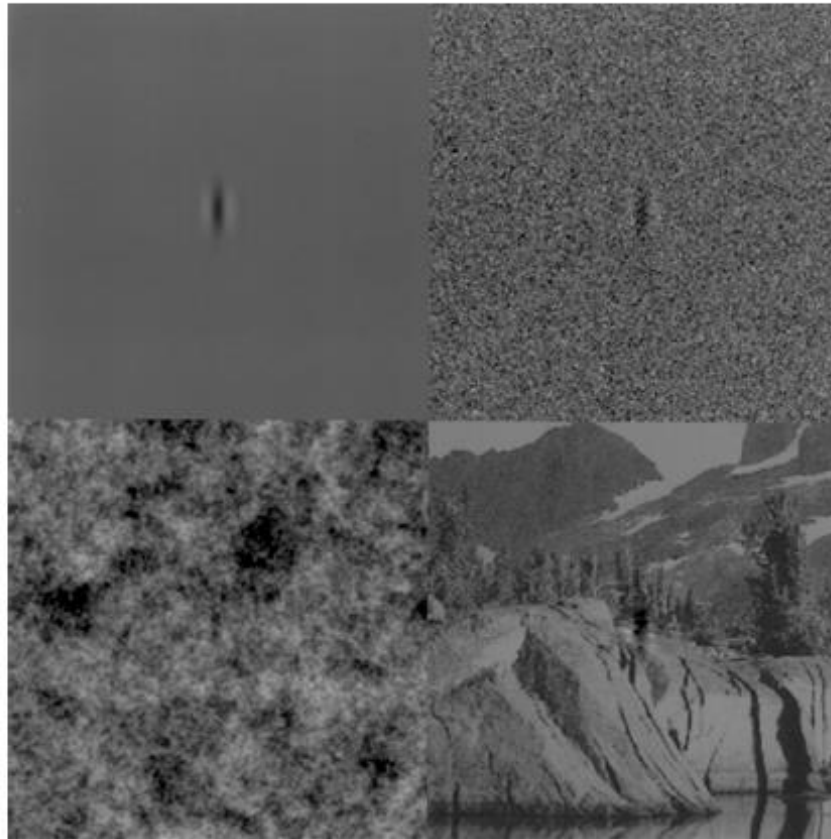


Adaptabilní a nelineární systém





Maskování



Obr.3.3.2.4: Příklad Gaborova stimulu zakrytého různými maskéry. Levý horní zaznamenává konstantní pozadí, pravý horní náhodný bílý šum, levý spodní šum s $1/f$ amplitudou spektra a pravý spodní pozadí se scénou hory. S výjimkou konstantního pozadí všechny ostatní maskéry mají přibližně stejný rozptyl. Převzato z [3.3.6].

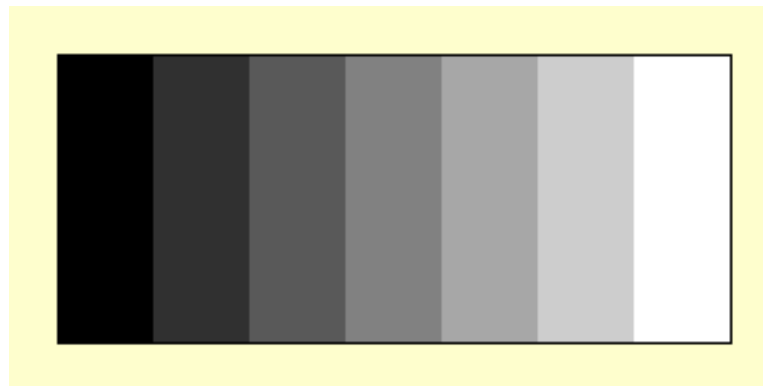


Základy processingu v CNS



Machovy pruhy - gradační stupnice

- zvýšení kontrastu na hranách
- receptivní pole – 2D HP

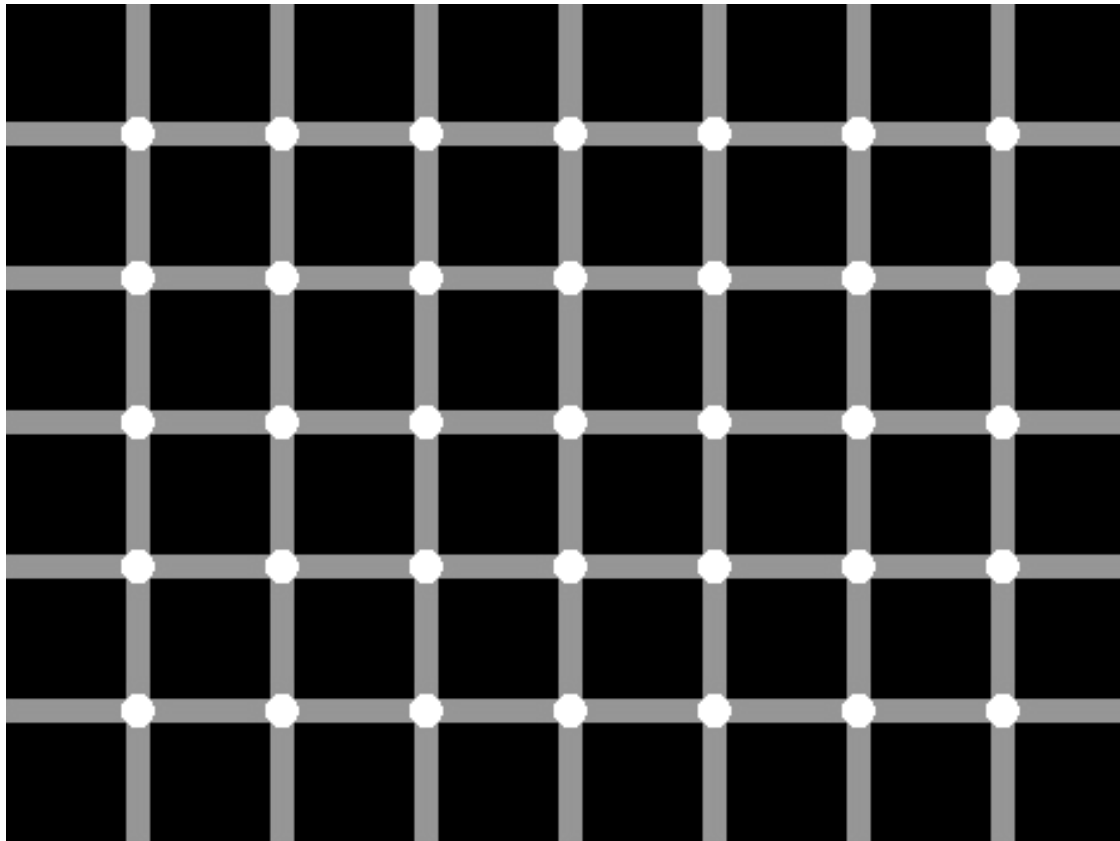




Základy processingu v CNS



Vliv receptivních polí



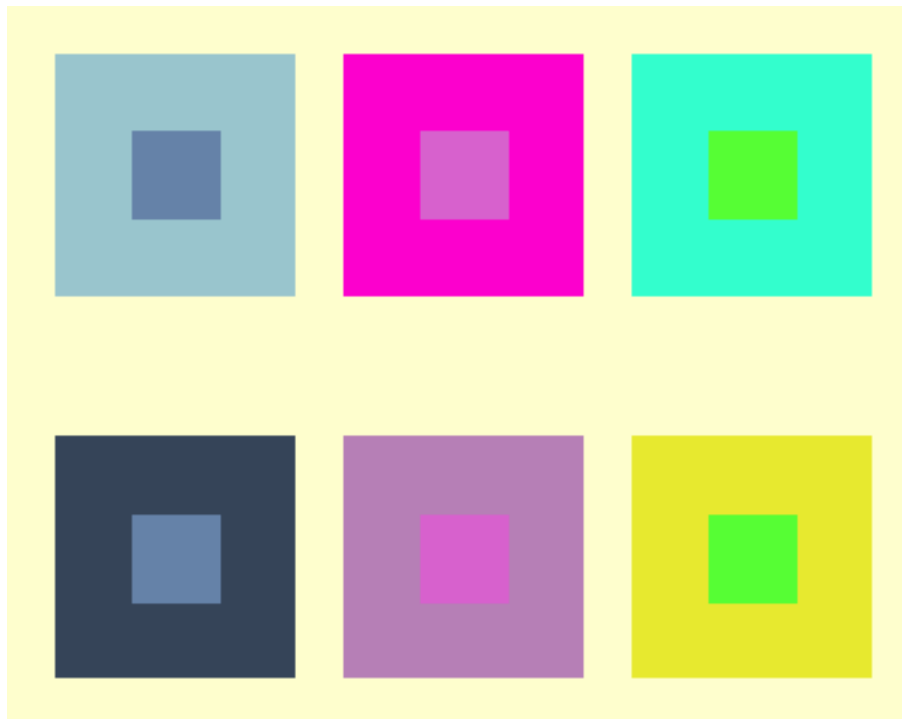


Základy processingu v CNS



Simultánní kontrast:

- rozdíly v jasu, saturaci a tónu
- dvojice stejných malých čtverců

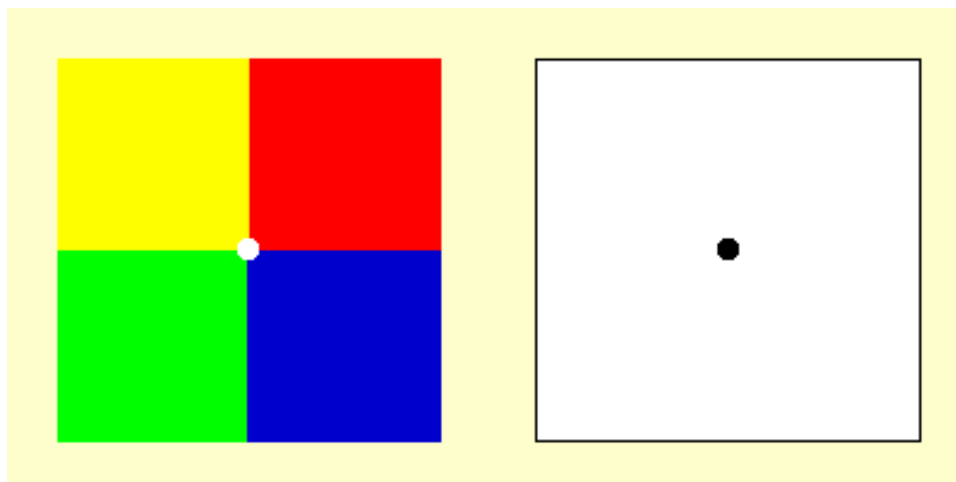




Základy processingu v CNS



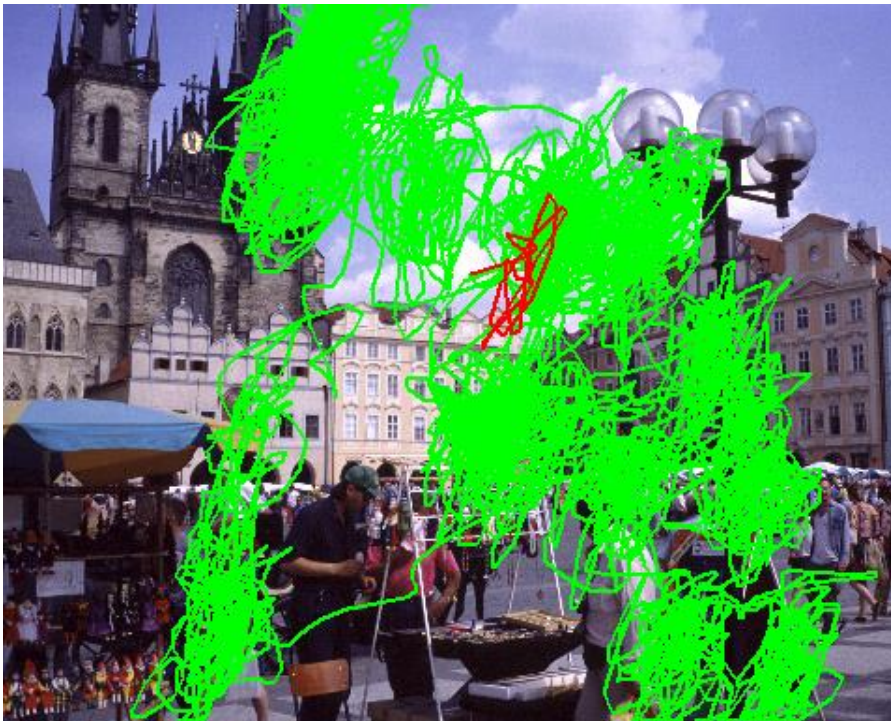
After Image





Oční pohyby

Region of Interest
ROI



Eye Tracking
Eye Driven
Driven Eye





Fotometrie — popis vjemu světla



Radiometrie a fotometrie



Světelné (**fotometrické**) veličiny

světlo - obor vlnových délek 380 až 780 nm

zářivé (**radiometrické**) veličiny - energeticky - zářivý tok Φ_e [W]

vyjádření **vjemu** - světelné veličiny

světelná účinnost záření $K = \frac{\Phi}{\Phi_e}$ Φ - světelný tok [lm]

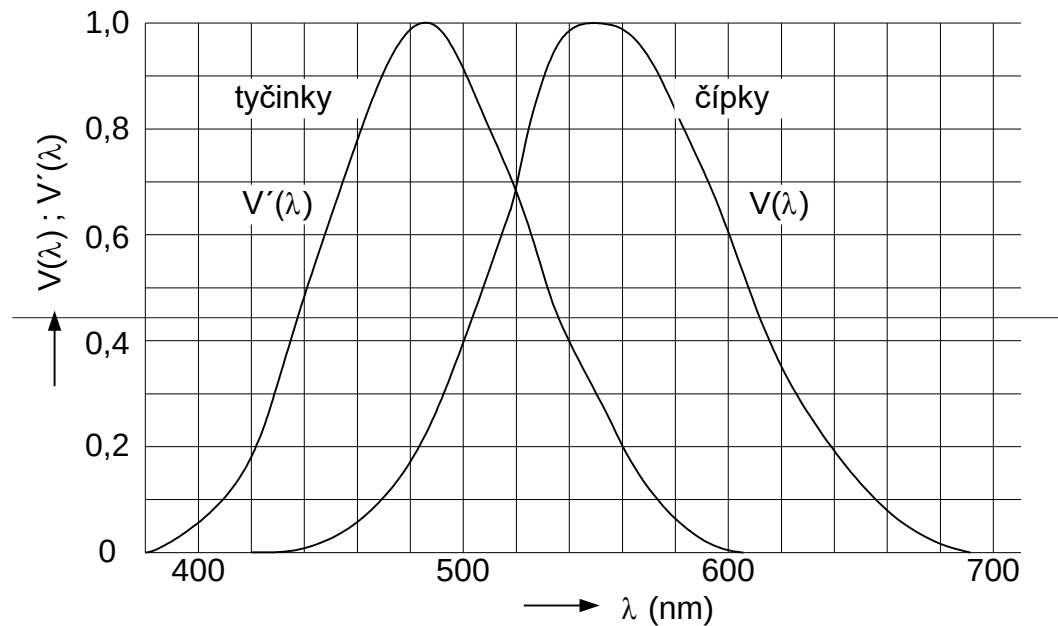
maximální hodnoty

fotopické vidění $K_m = 680 \text{ lm/W}, \lambda = 555 \text{ nm}$

skotopické vidění $K'_m = 1740 \text{ lm/W}, \lambda = 507 \text{ nm}$



Relativní světelná účinnost záření





Primární a sekundární zdroje

Množství světla Q [lm.h]

Světelný tok Φ [lm]

Osvětlení $E = d\Phi/dS$ [lx]

Světlení $H = d\Phi/dS$ [lx]

Svítivost $I = d\Phi/d\Omega$ [cd] – diagram svítivosti, barevná teplota

Jas $L = dI/(dS \cdot \cos\alpha)$ – rovnoměrně $I/(S \cdot \cos\alpha)$ [nt, asb, ft-L]

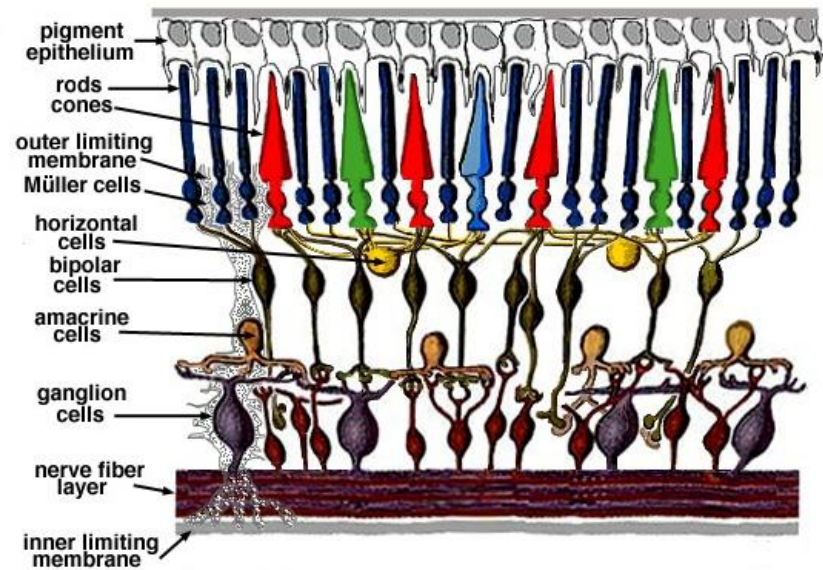
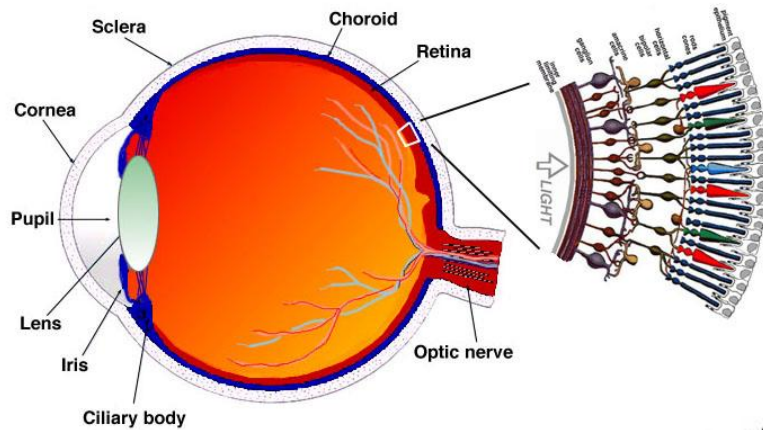
Expozice $O = E \cdot t$ [lx.s]



Kolorimetrie — popis barevných světél



HVS





Kolorimetrie – terminologie



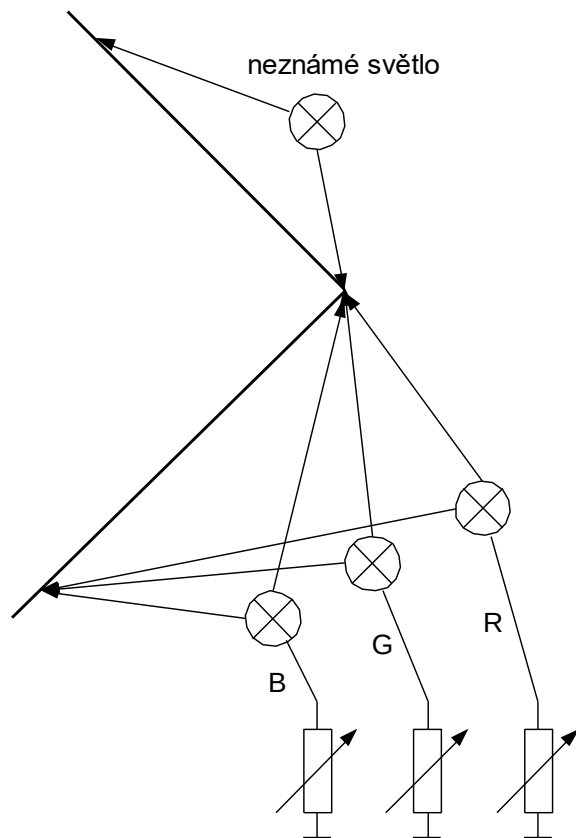
- CIE - Commission Internationale d'Eclairage - MKO
- barvy pestré a nepestré
- chromatičnost - světlo (primární zářiče)
- kolorita - předměty (sekundární zářiče)
- barevné soustavy (prostory) RGB, CMY, CMYK,
- barevné soustavy stejných diferencí CIELAB, CIELUV
- další barevné soustavy např. Kodak
- barevný gamut - rozsah reprodukovatelných barevných světél
- gama - převodní charakteristika displeje (exponent)



Kolorimetrie

Subjektivní kolorimetr

Subjektivní kolorimetr




pozorovatel

vyvážení barevného světla

$$N = R(R) + G(G) + B(B)$$

záporné koeficienty



Trichromatická soustava základních světél CIE RGB

- tři skutečná základní barevná světla CIE

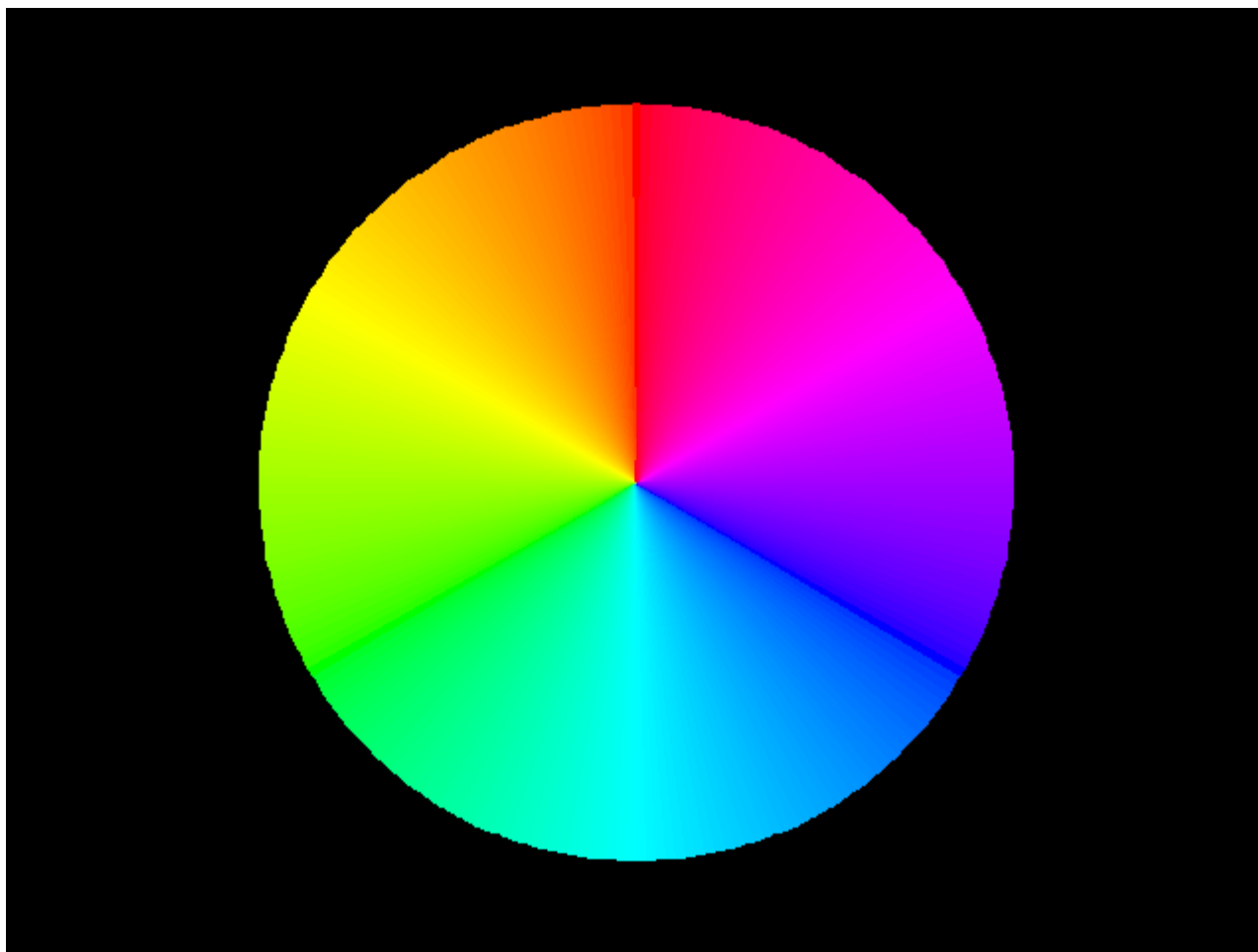
R..700 nm, G..456,1 nm, B..435,8 nm

- metamerismus
- gamut
- např. luminofory obrazovky, filtry u LCD
- pokrytí většiny barev v přírodě



Kolorimetrie

Popis barevného světla – oponent colors (doplňkové barvy)





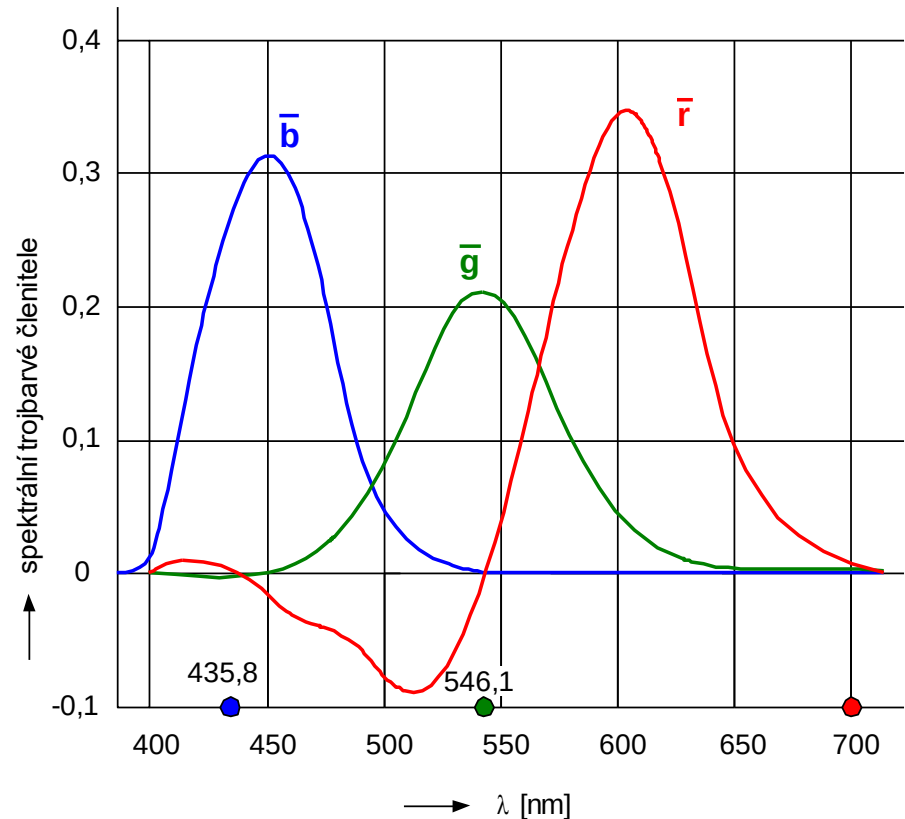
Základní světla R, G a B

- trichromatičtí členitelé
- trichromatické složky RGB
- trichromatické souřadnice rgb

$$R = \int_{380}^{780} E(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_{380}^{780} E(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_{380}^{780} E(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$



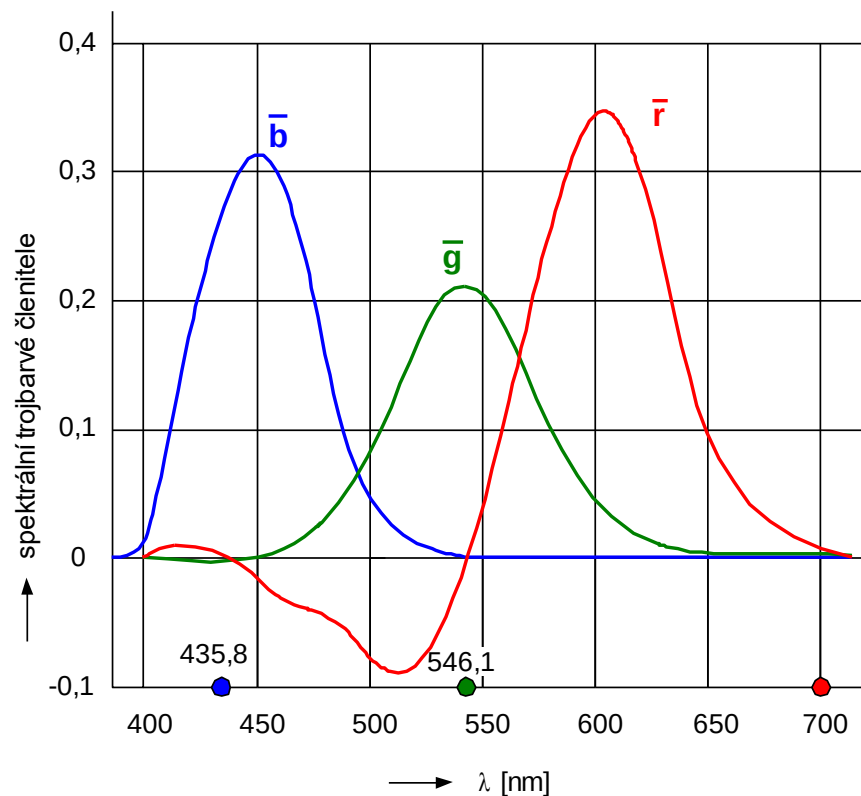
$$r = \frac{R}{R + G + B}, g = \frac{G}{R + G + B}, b = \frac{B}{R + G + B}$$
$$r + g + b = 1$$



Trichromatická soustava základních světél RGB

trichromatičtí členitelé (Color Matching Functions)

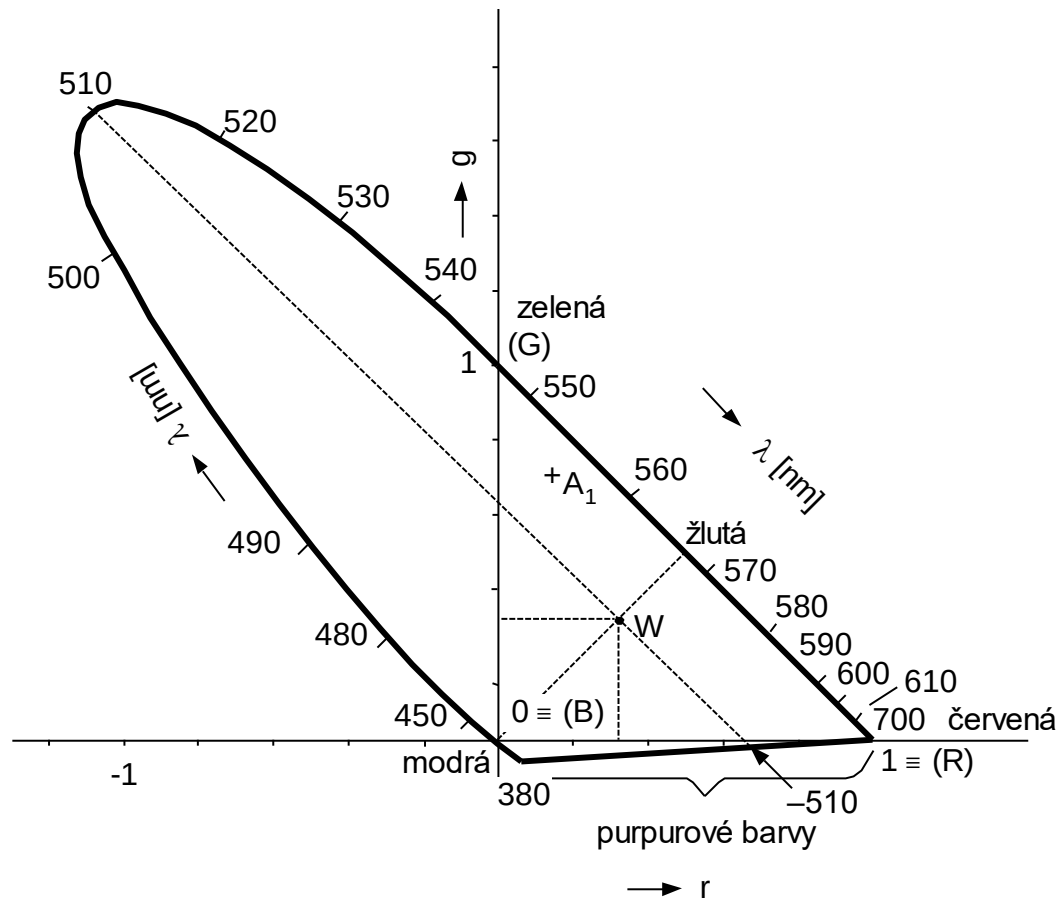
– záporné úseky, jednotkové plochy





Trichromatická soustava základních světél CIE RGB

existující barevná světla





s RGB – norma IEC 61966-2-1

- Hewlett Packard a Microsoft
- osvětlení místnosti 64 lx D_{50} , odrazivost okolí 20%
- CRT monitor, bílá D_{65} ($x=0,3127$, $y=0,3290$), 80 cd/m², luminofory podle

ITU-R BT.709/2

- R: $x=0,6400$, $y=0,3300$ G: $x=0,3000$, $y=0,6000$ B: $x=0,1500$, $y=0,0600$
- $\gamma = 2,2$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4124 & 0,3576 & 0,1805 \\ 0,2126 & 0,7152 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,2406 & -1,5372 & -0,4986 \\ -0,9686 & 1,8758 & 0,04515 \\ 0,0557 & -0,0557 & 1,0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$



Trichromatická soustava základních světél CIE RGB a CIE XYZ

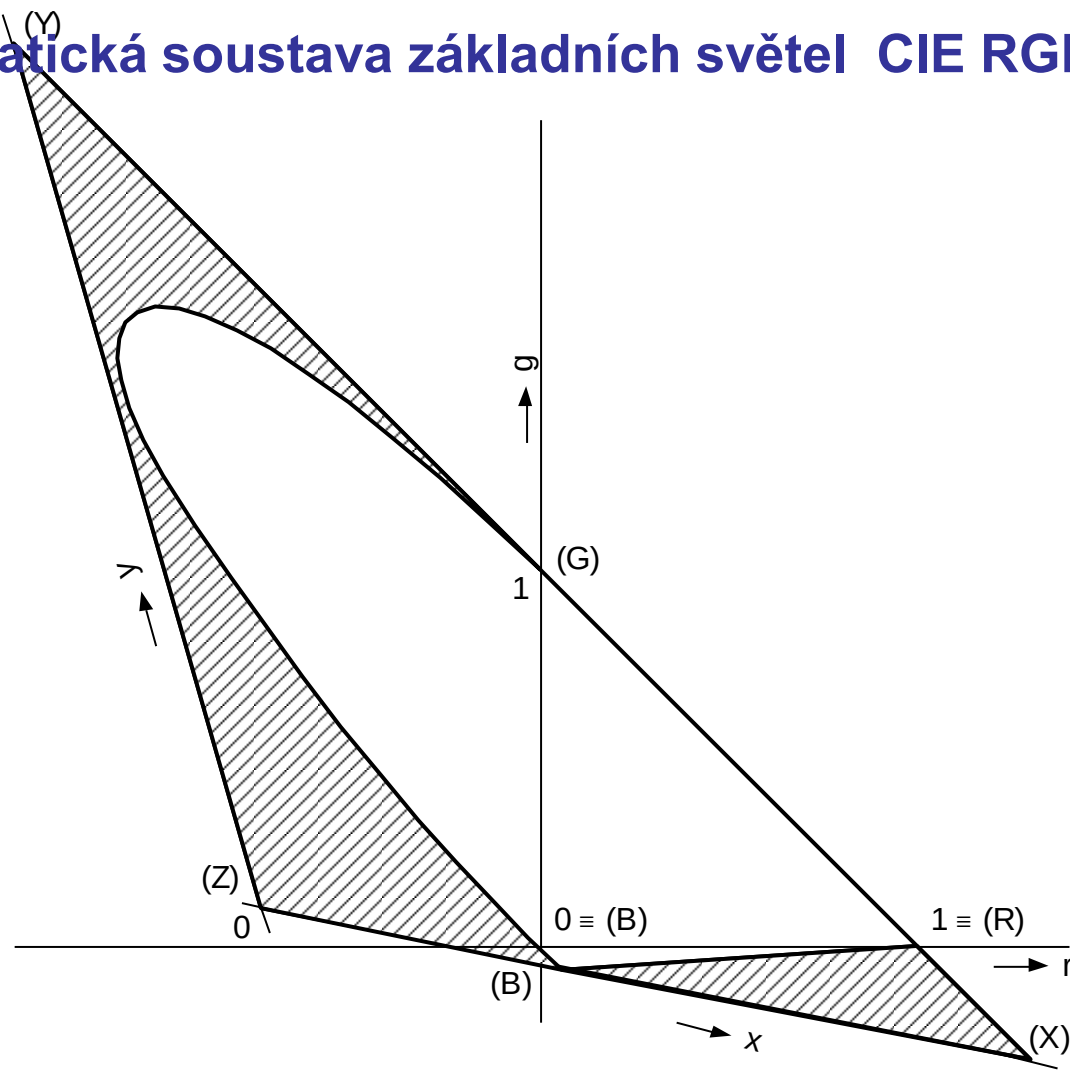




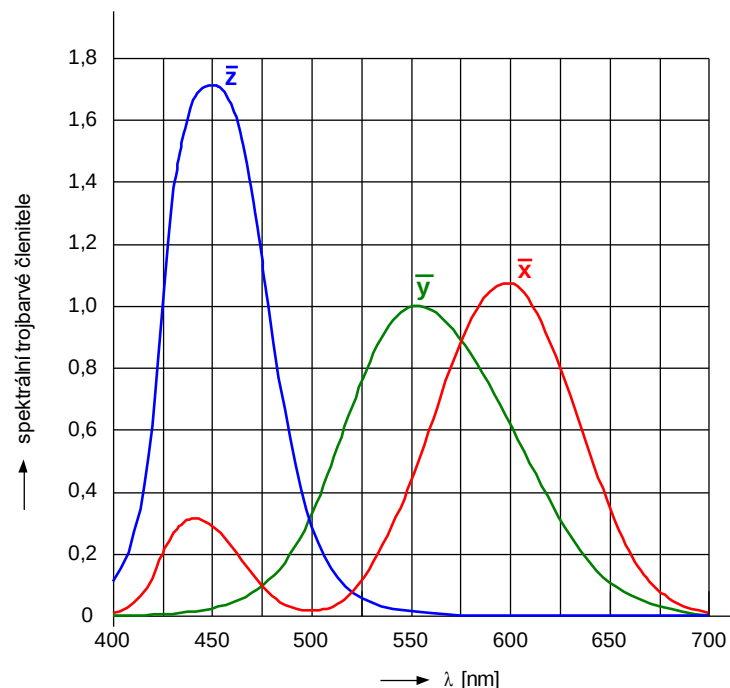
Diagram MKO – neskutečná základní světla X, Y a Z - CIE XYZ

- trichromatičtí členitelé
- trichromatické složky XYZ
- trichromatické souřadnice xyz

$$X = \int_{380}^{780} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{380}^{780} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{380}^{780} E(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$



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

$$x + y + z = 1$$



Kolorimetrie

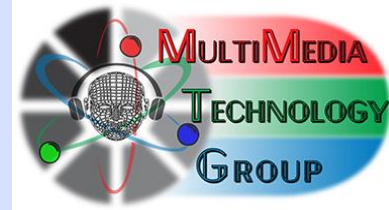


Diagram MKO

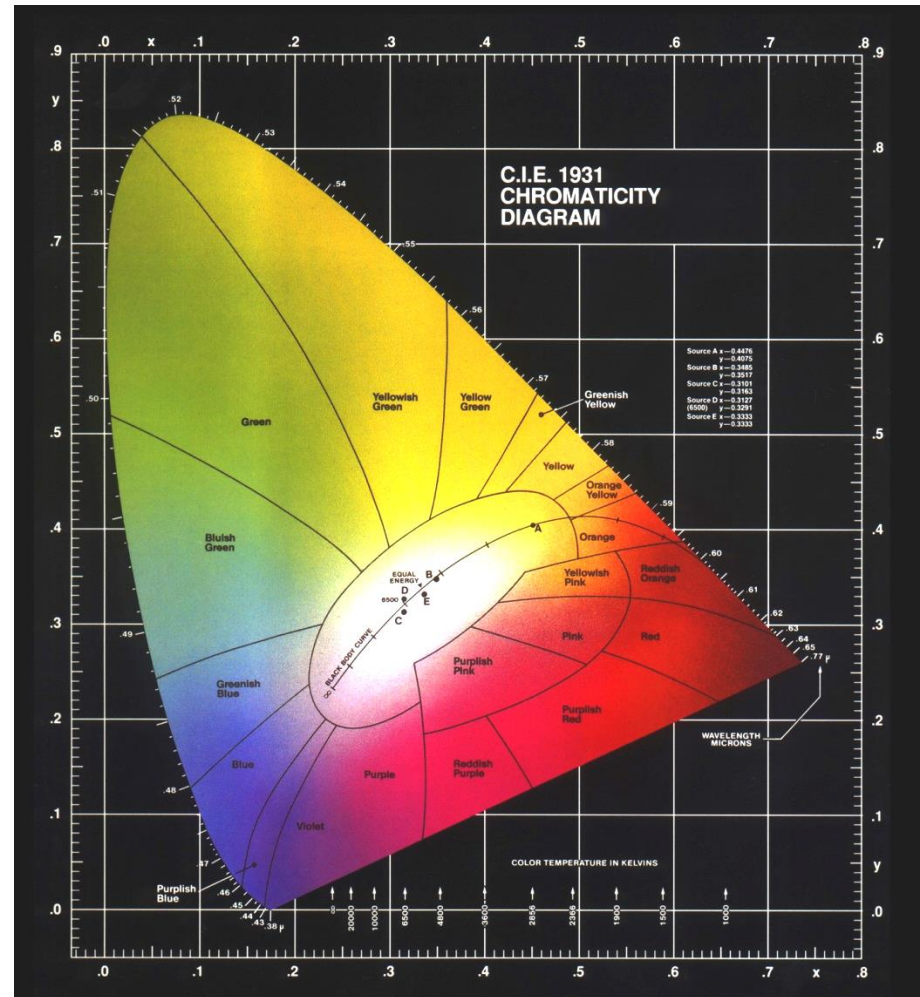
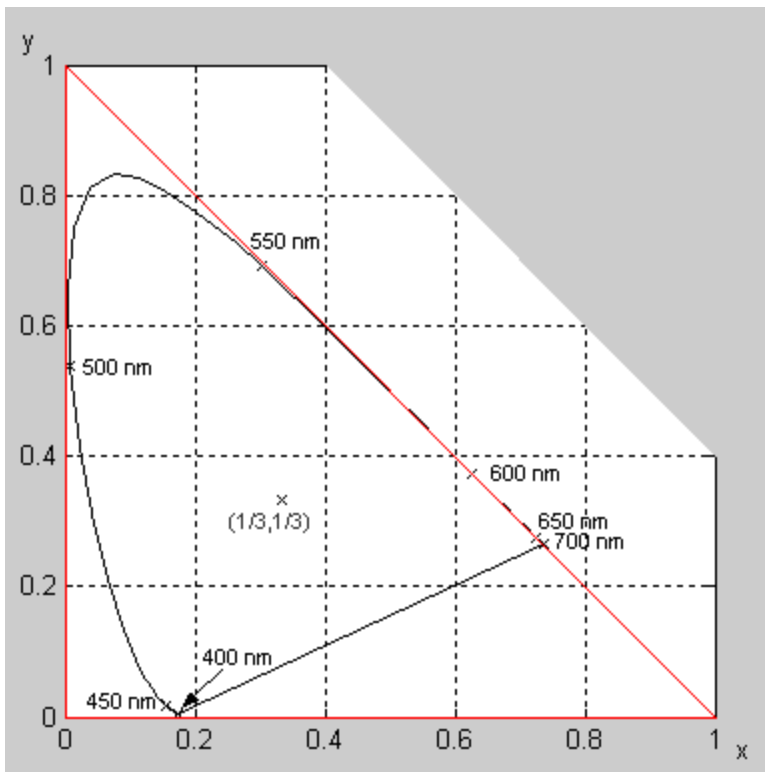
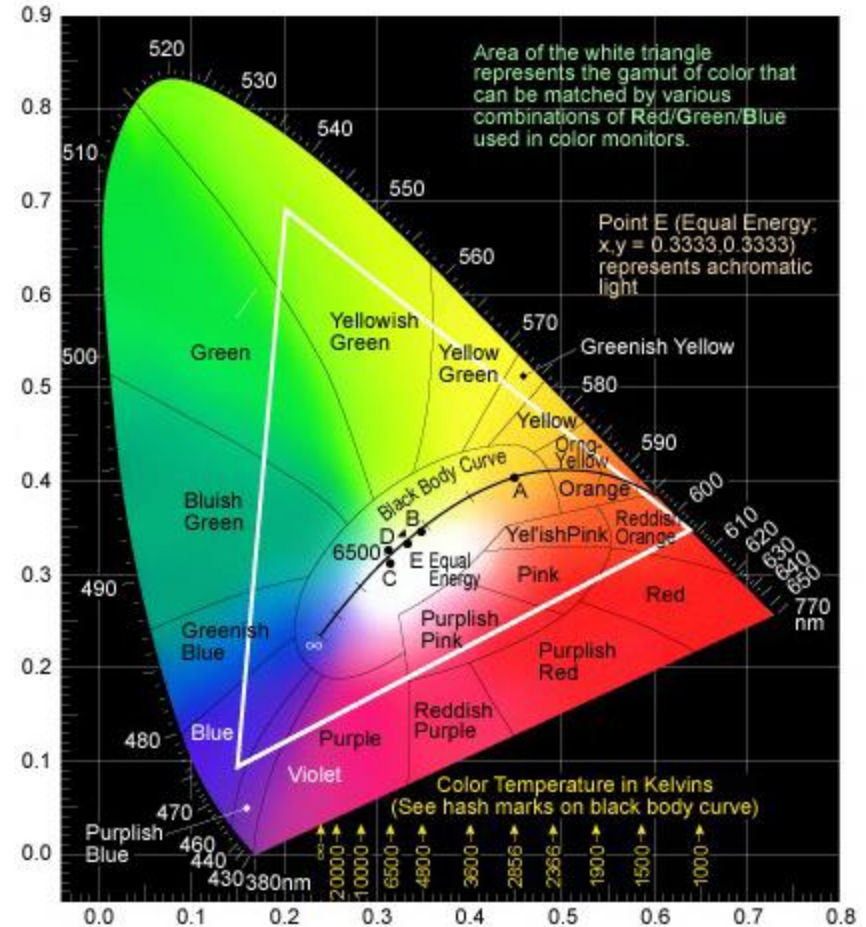




Diagram MKO:

- čára spektrálně čistých barev
- čára purpurů
- mísení barev – pákové pravidlo
- metamerismus
- barevná teplota
- náhradní vlnová délka





Vztah mezi soustavami RGB a XYZ

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,910 & -0,532 & -0,288 \\ -0,958 & 1,999 & -0,028 \\ 0,058 & -0,118 & 0,898 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

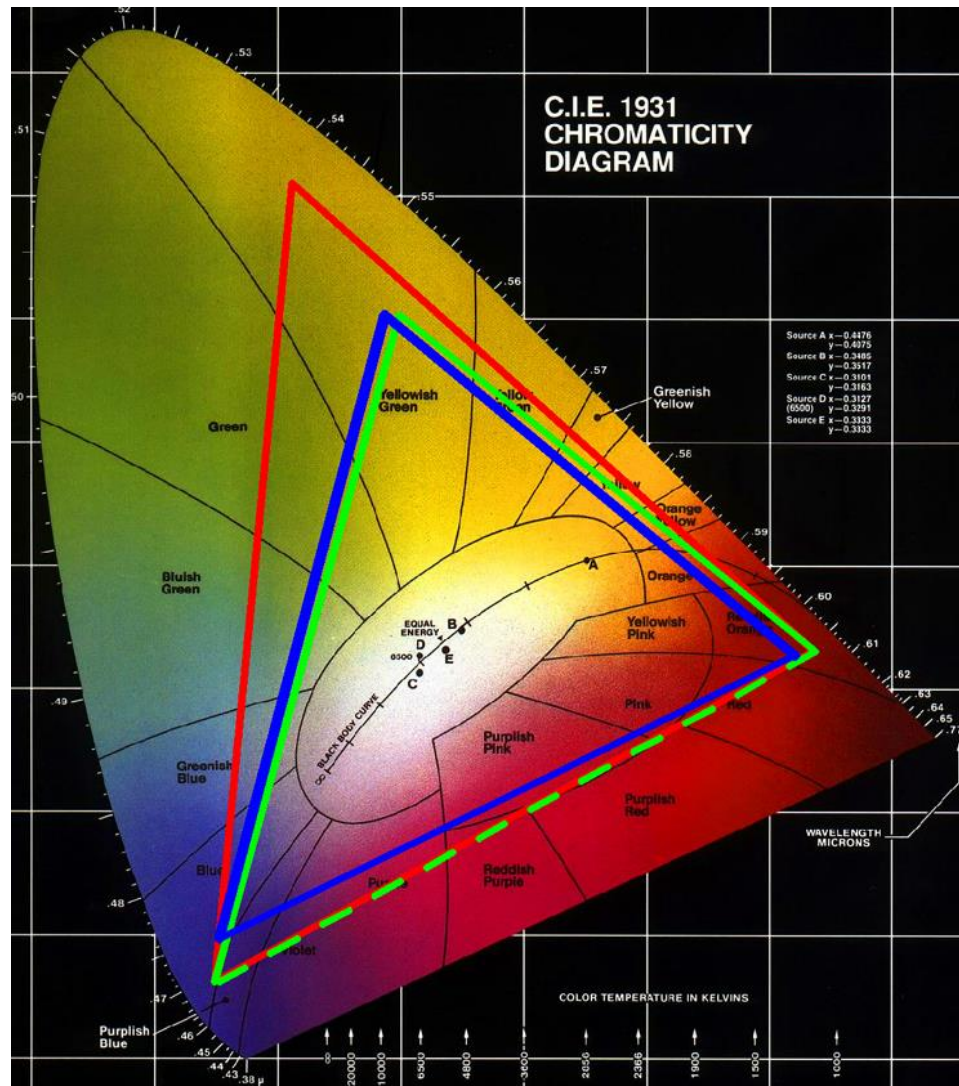
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,607 & 0,173 & 0,200 \\ 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,000 & 0,066 & 1,116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$Y = 0,30 R + 0,59 G + 0,11 B$$



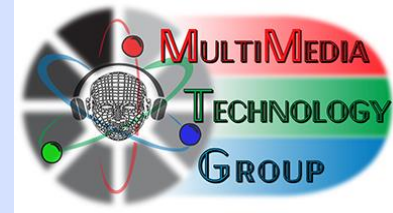
trojúhelník

realizovatelných barev

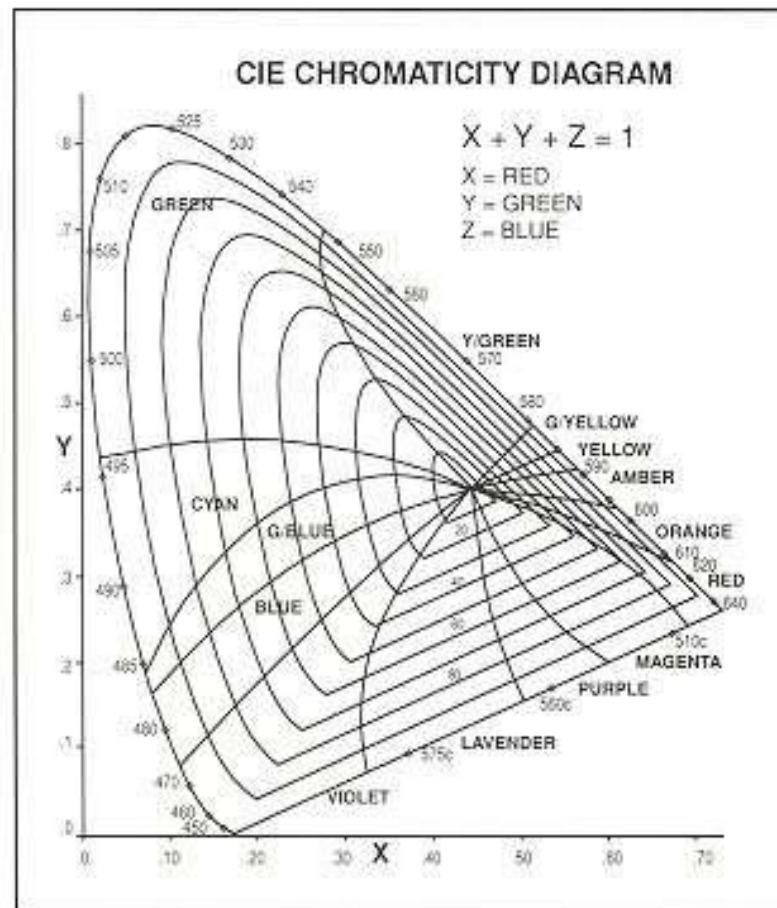
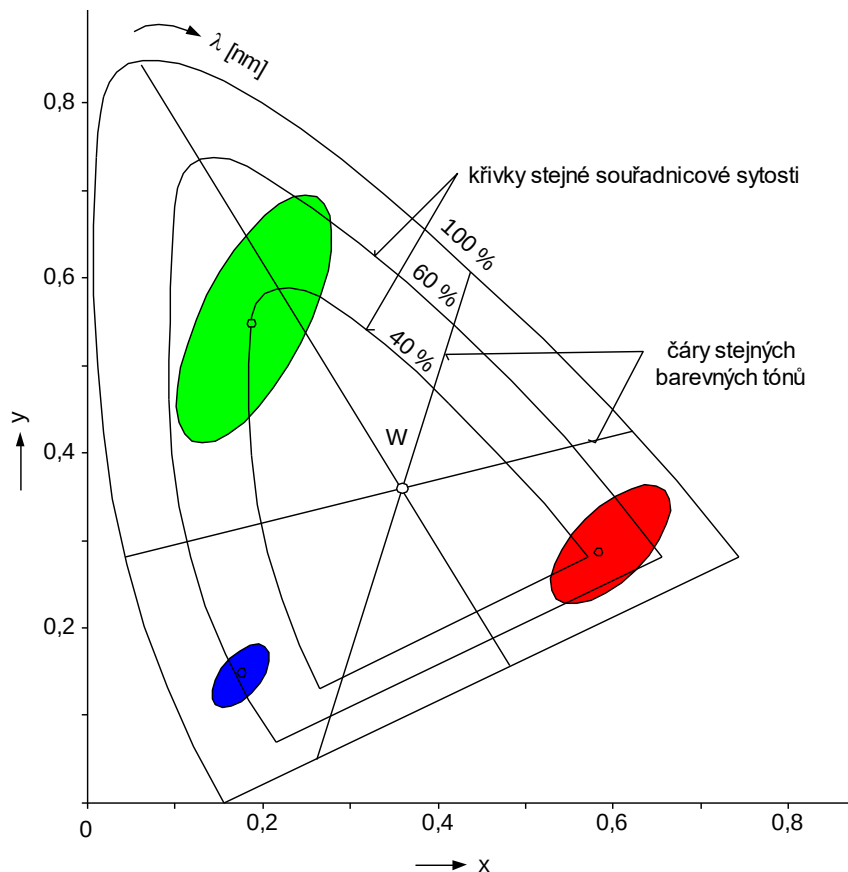




Kolorimetrie – barevné rozlišení (McAdam) - CIE XYZ



JND - Just Noticeable Difference





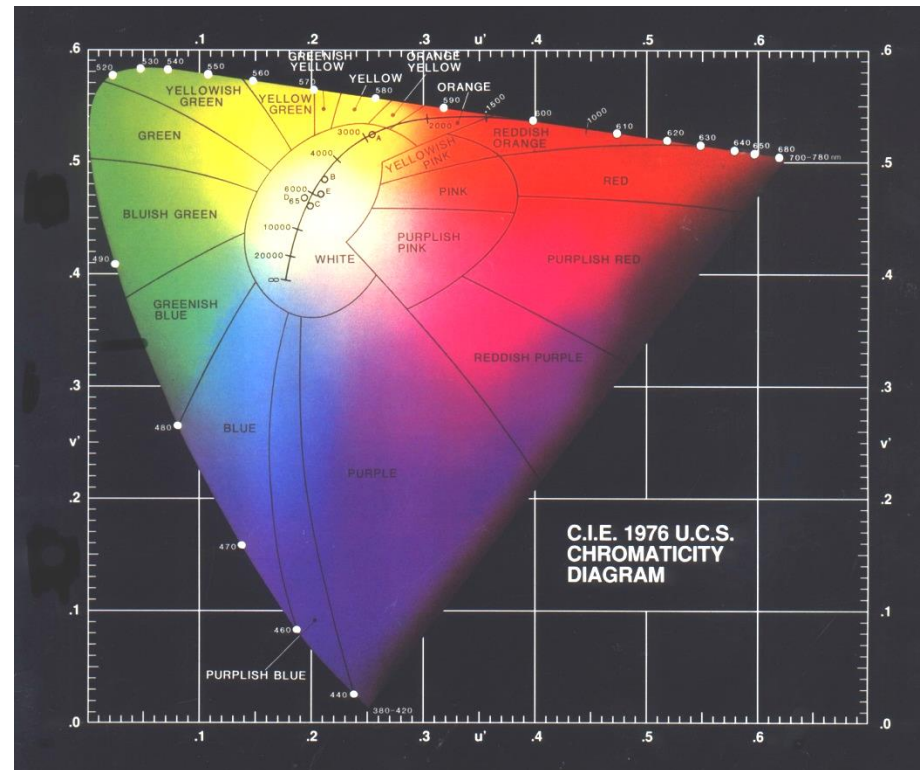
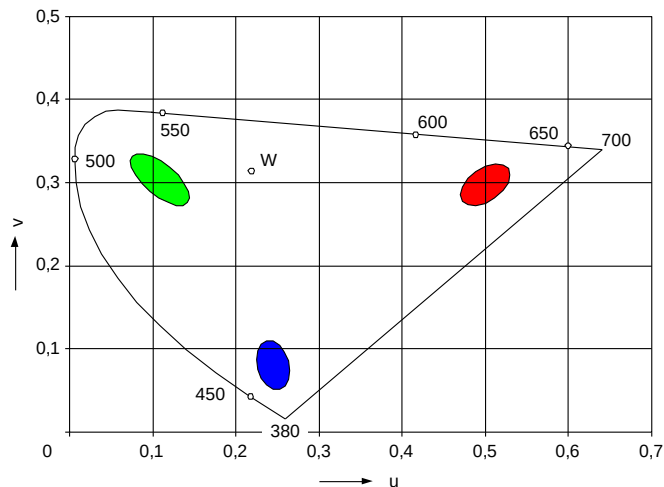
Kolorimetrie



Kolorimetrický diagram stejných rozdílů

$$u = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v = \frac{9y}{-2x + 12y + 3}$$





CIELAB

$$L^* = 116 \cdot f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$f(x) = x^{\frac{1}{3}}, x \geq 0,008856$$

$$f(x) = 7,787x + \frac{16}{116}, x \leq 0,008856$$

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

$$b^* = 500 \cdot \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$$

X_n, Y_n, Z_n - složky nejjasnějšího bílého bodu v zorném poli



Podmínka kompatibility

- princip konstatního jasu – vektor chrominance
- dva přenosové chrominanční signály R-Y, B-Y – složky vektoru
- nepestrá barva (čb) – signály nulové
- základní TV barvy:

R: $x = 0,67$ $y = 0,33$ $\lambda = 610 \text{ nm}$

G: $x = 0,21$ $y = 0,71$ $\lambda = 537 \text{ nm}$

B: $x = 0,14$ $y = 0,08$ $\lambda = 472 \text{ nm}$



Barevná rozlišovací schopnost

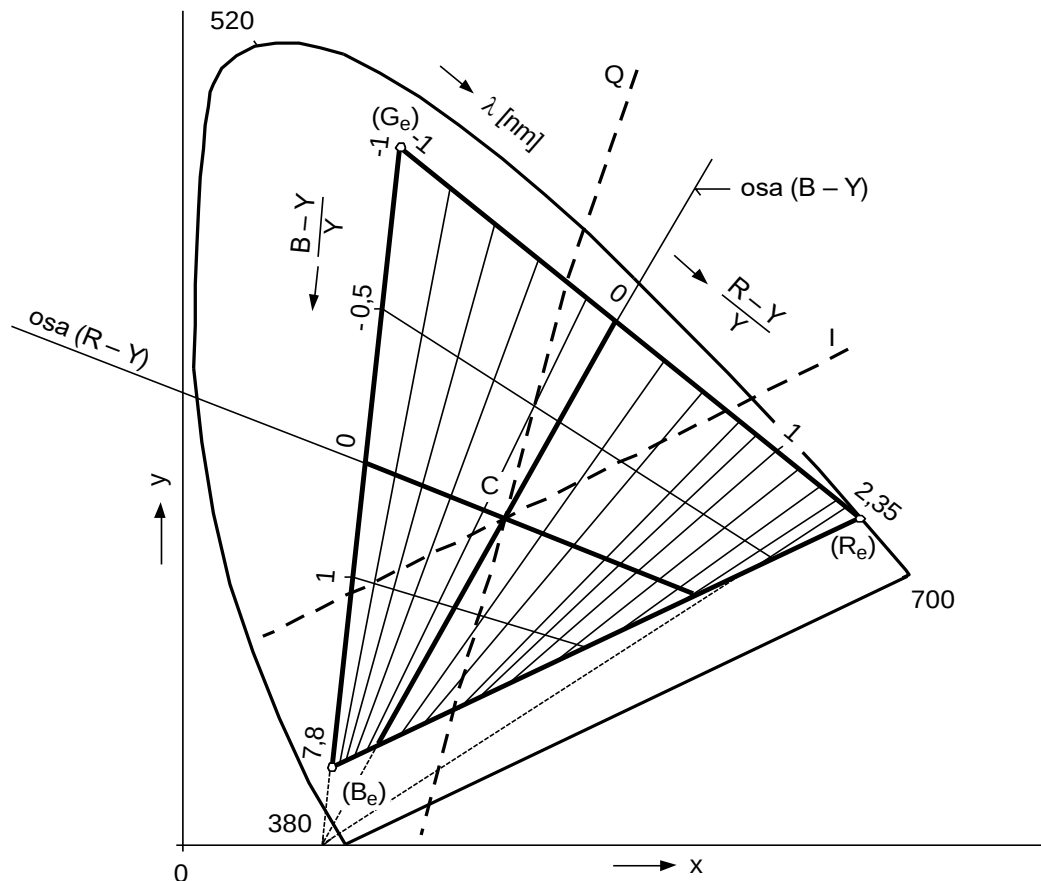
- osy I a Q
- osy R-Y, B-Y

TV bílá

Světlo C

$x=0,310$

$y=0,316$





Vztah mezi Y,R-Y,B-Y a RGB

$$\begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,701 & -0,587 & -0,114 \\ -0,299 & -0,587 & 0,886 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -0,509 & -0,194 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix}$$

Rozdílové signály – nulový příspěvek k jasů

$$Y_{\text{výsl}} = Y + 0,30(R-Y) + 0,59(G-Y) + 0,11(B-Y) = 0,30R + 0,59G + 0,11B$$



Reference:

- G. Sharma, Digital Color Imaging Handbook, CRC Press, 2003
- Z. Horák, F. Krupka, Fyzika, SNTL, 1960
- ČSN 36 0010 Měření světla
- ČSN 01 1718 Měření barev
- <http://www.paladix.cz> (Radka Turčajová)
- www.wikipedia.org