

**Rozvoj lidských zdrojů TUL pro zvyšování relevance,  
kvality a přístupu ke vzdělání v podmínkách Průmyslu 4.0**

## **Základy KOLORISTIKY**

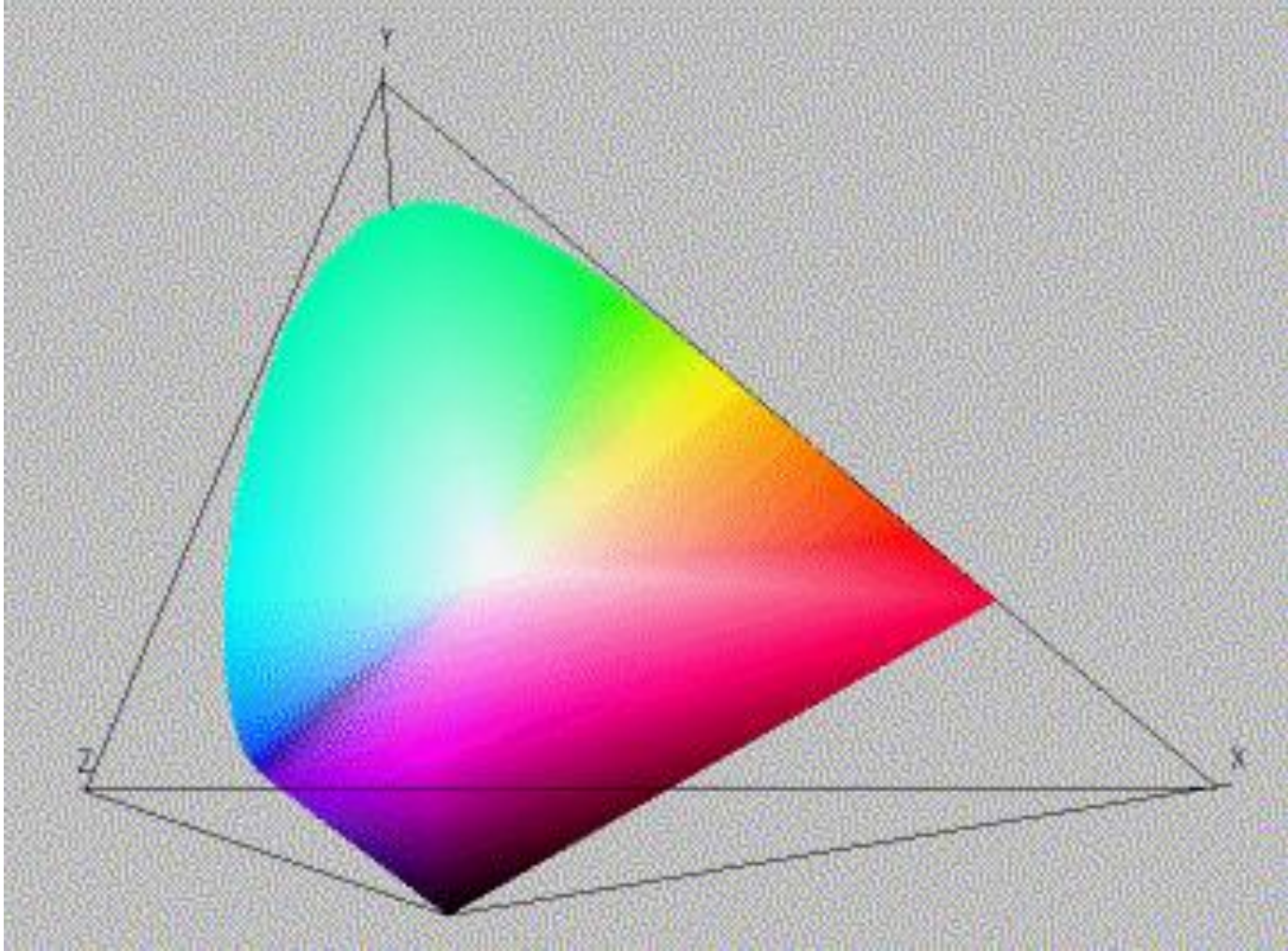
Lektor: doc. Ing. Michal Vik, Ph.D.  
doc. Ing. Martina Viková, Ph.D.



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

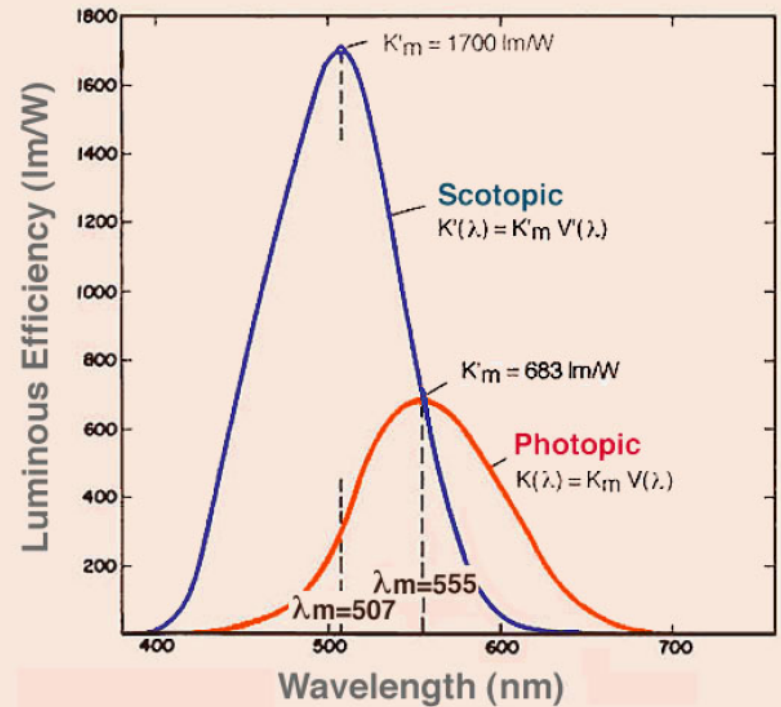
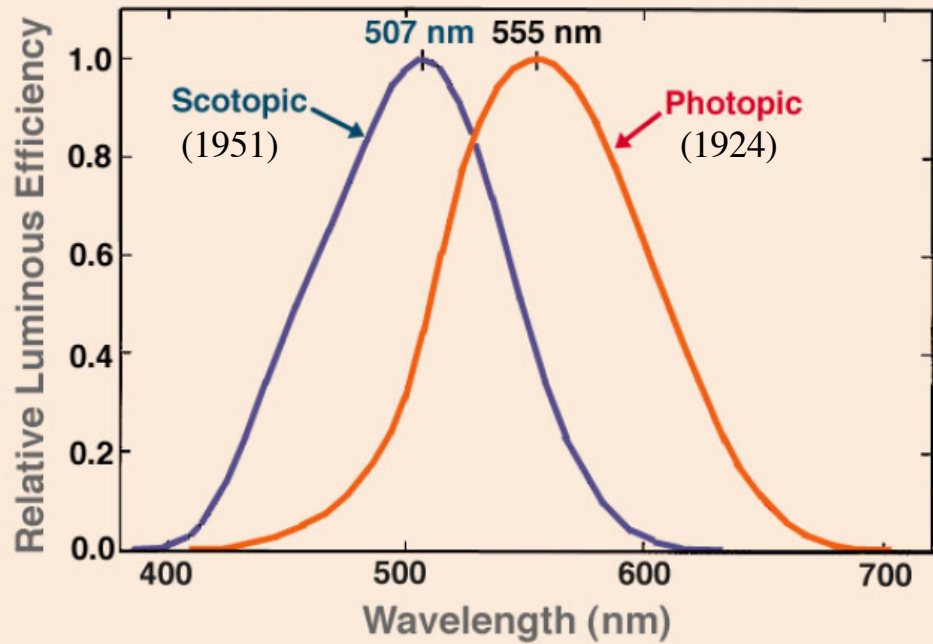
  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# Kolorimetrické soustavy



# Spektrální luminózní funkce $V_\lambda$

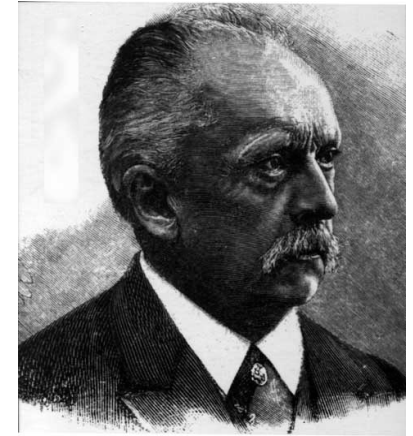
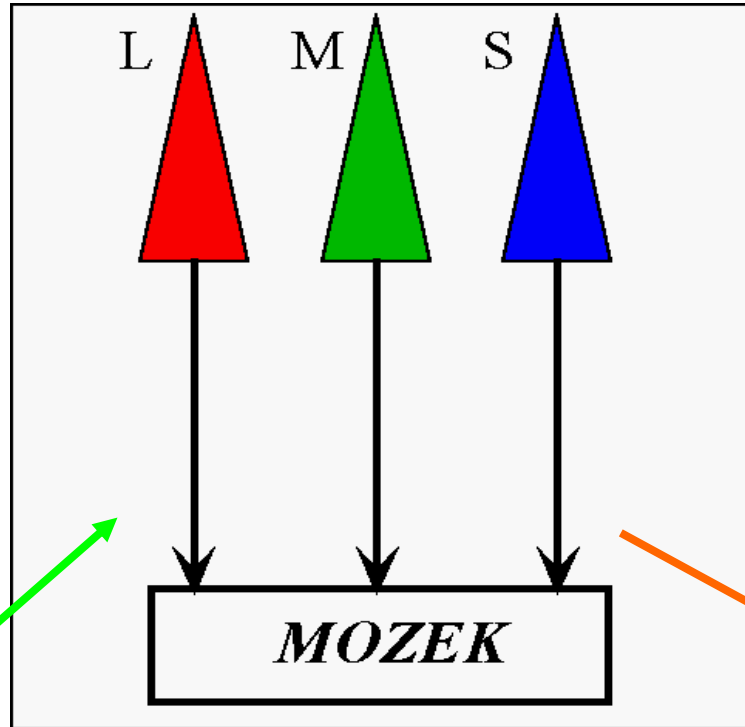
(poměrná spektrální citlivost normálního pozorovatele)



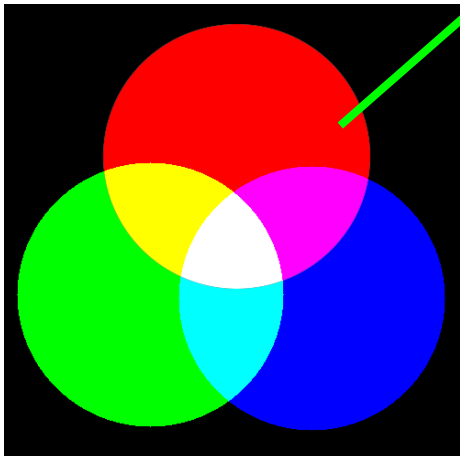
# Young-Helmholtzův model vnímání barev



Thomas Young  
1773-1829

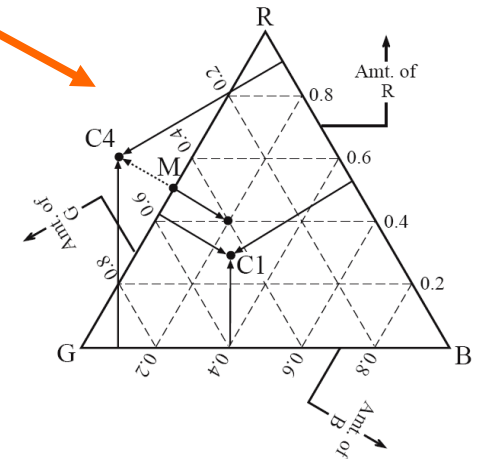


Hermann von Helmholtz  
1821-1894



Thomas Young (1803)

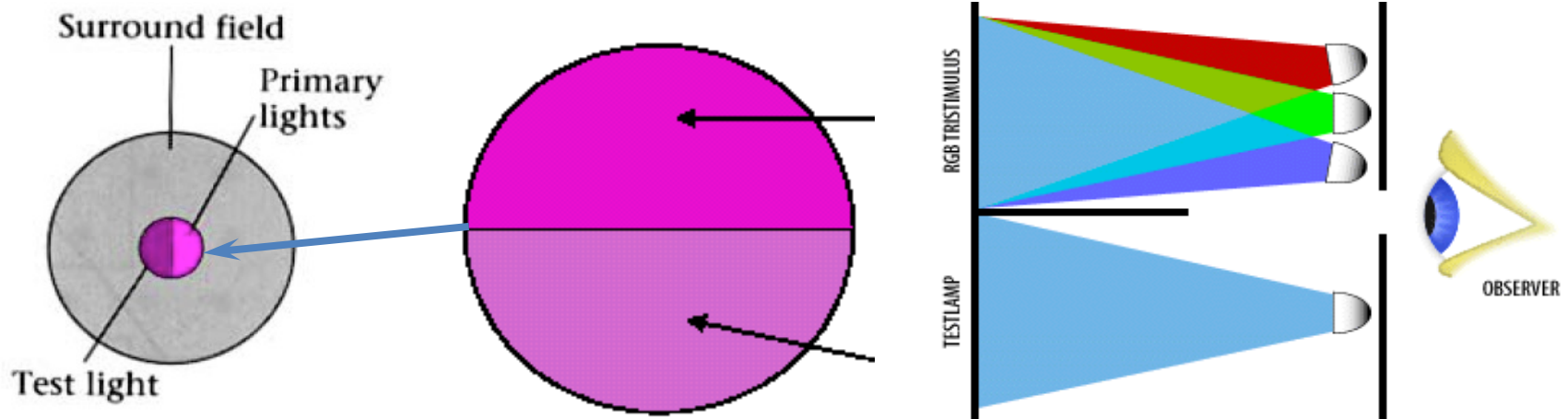
*“Pro vjem všech barev stačí pouze několik fotoreceptorů s různou spektrální citlivostí..“*



# Wright - Guildův experiment I

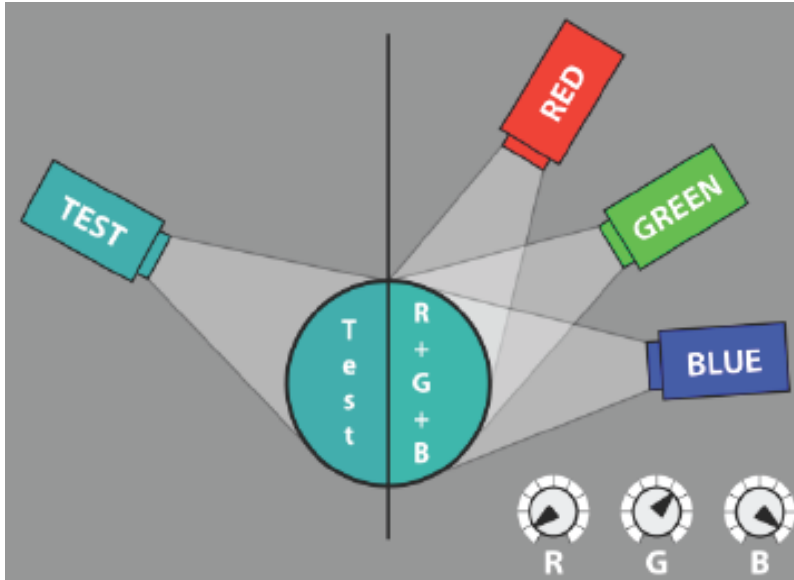
Úkolem bylo změřit spektrální citlivost člověka

- Pozorovatel hodnotil dvoudílné zorné pole na jehož jednu polovinu dopadalo monochromatické záření o určité vlnové délce  $\lambda$  a intenzitě  $U\lambda$ .
- Na druhou polovinu dopadalo monochromatické záření třech základních barev  $\lambda_R = 645 \text{ nm}$ ,  $\lambda_G = 526 \text{ nm}$ ,  $\lambda_B = 444 \text{ nm}$
- Úroveň jasu achromatického pozadí byla 40%





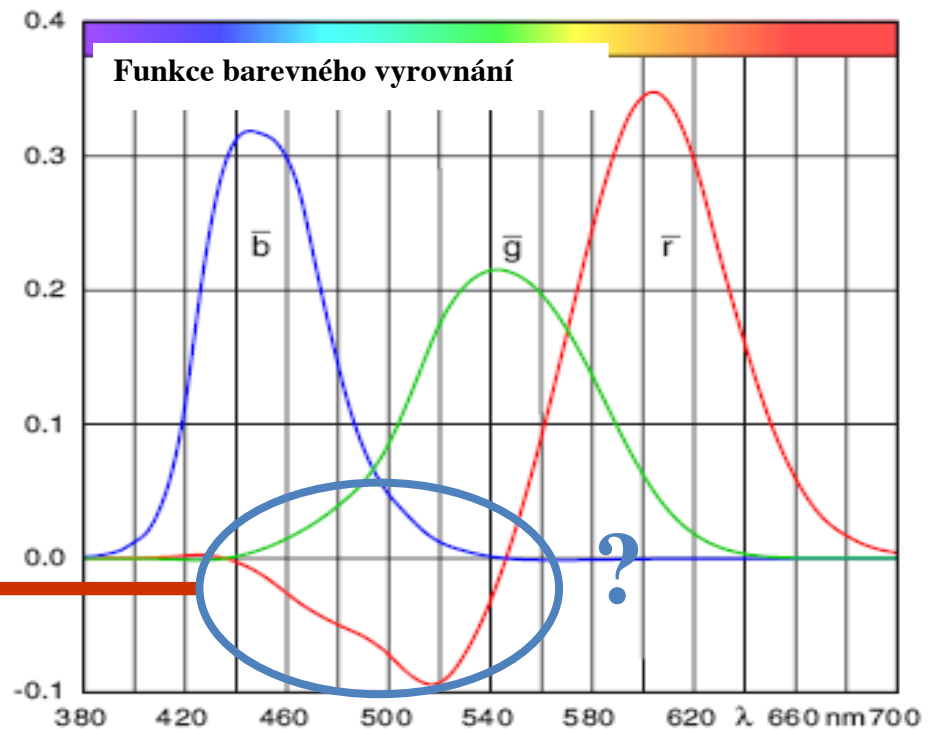
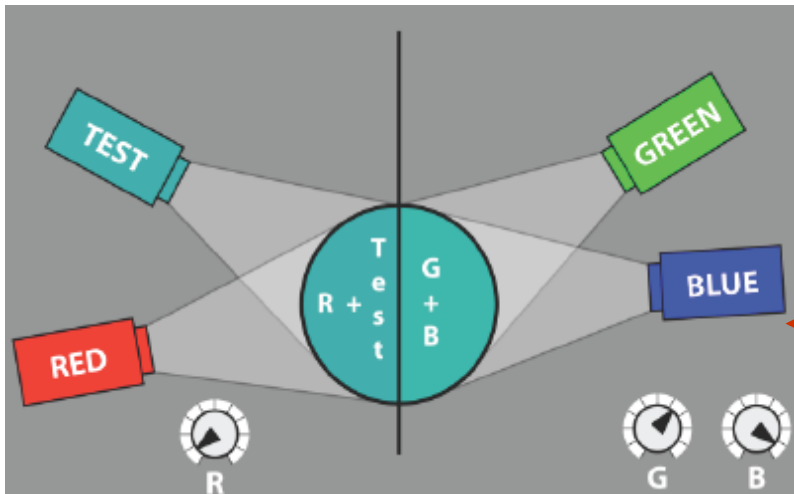
# Wright - Guildův experiment II



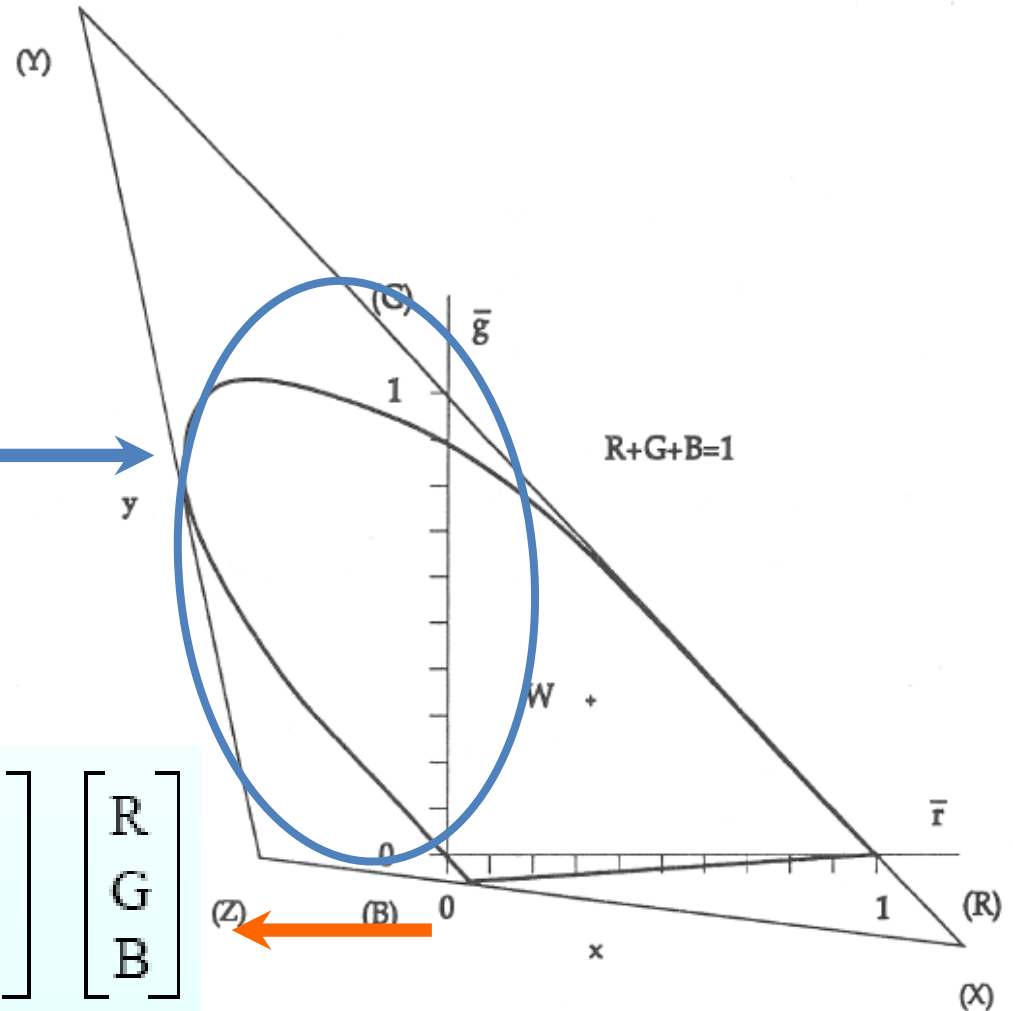
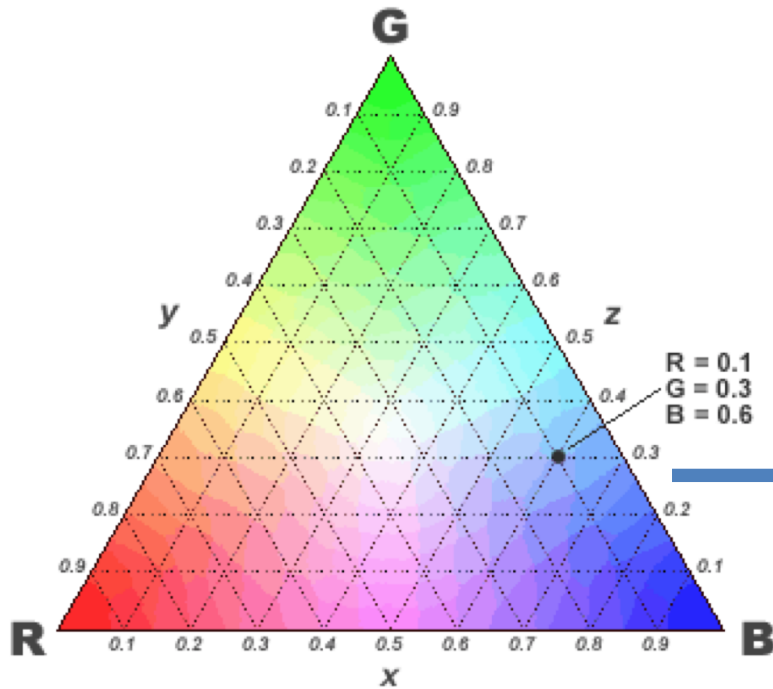
**William David Wright**  
1908-1998



**John Guild**  
1889-1979

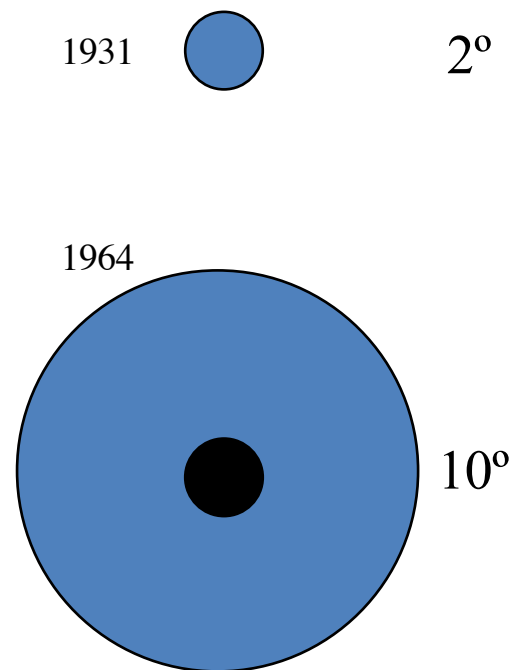
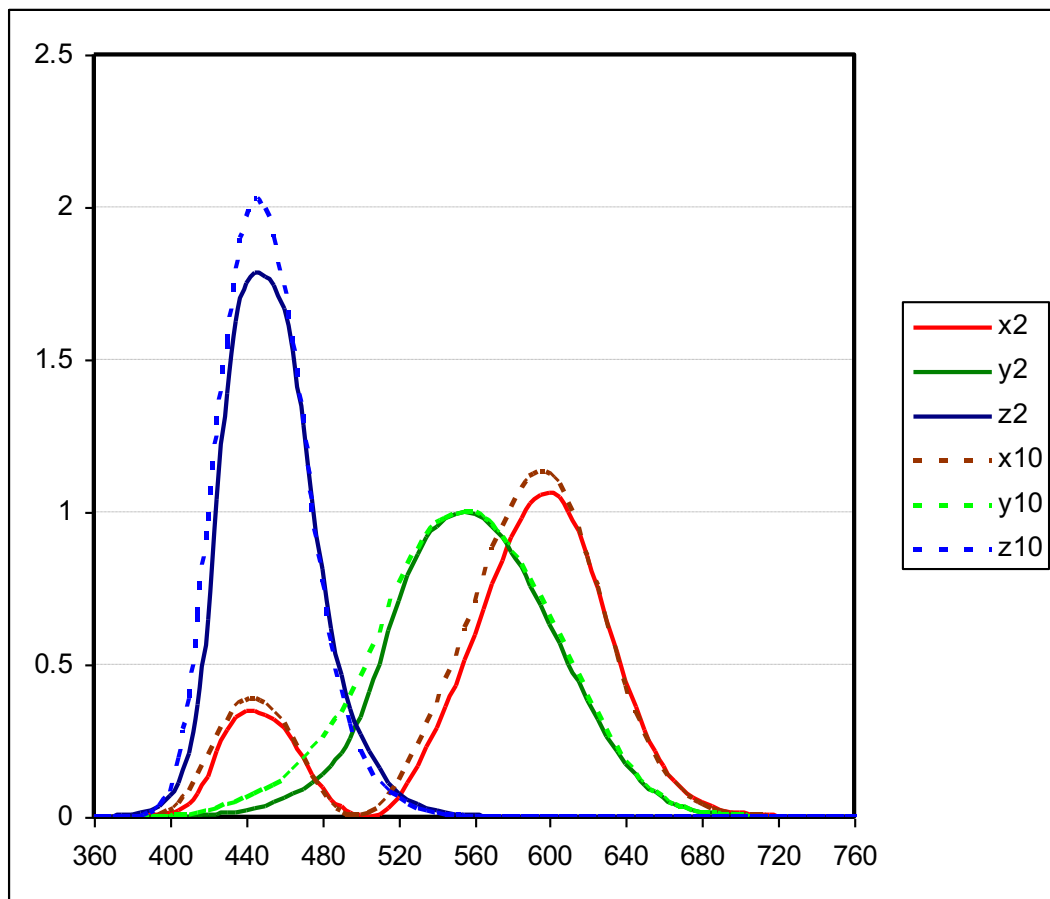


# Wright - Guildŭv experiment III



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.365 & -0.515 & 0.005 \\ -0.897 & 1.426 & -0.014 \\ -0.468 & 0.089 & 1.009 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

# Trichromatičtí členitelé normálního a doplňkového pozorovatele CIE





# Kolorimetrická soustava CIE XYZ - 1931

$$X = k \int_{\lambda} E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} d\lambda$$

$E_{\lambda}$  je činitel poměrného spektrálního složení světelného zdroje, podle vlnové délky

$R_{\lambda}$  je spektrální činitel odrazu, podle vlnové délky

$$Y = k \int_{\lambda} E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d\lambda$$

$\bar{x}_{\lambda}$ ,  $\bar{y}_{\lambda}$ ,  $\bar{z}_{\lambda}$  jsou hodnoty trichromatických členitelů

$k$  je normalizační faktor, který je dán rovnicí :

$$Z = k \int_{\lambda} E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} d\lambda$$



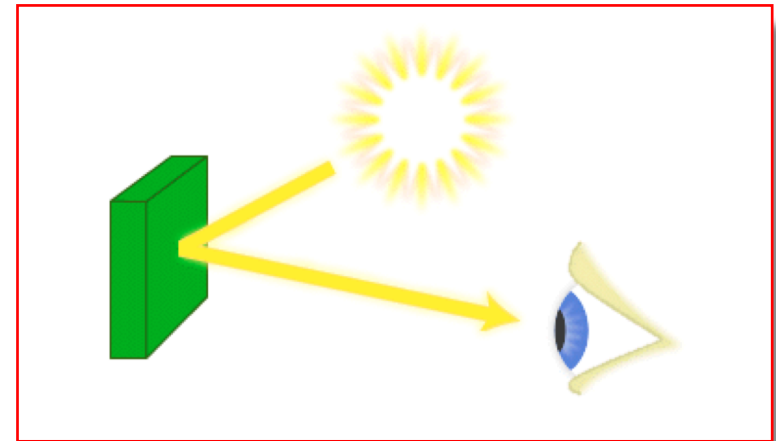
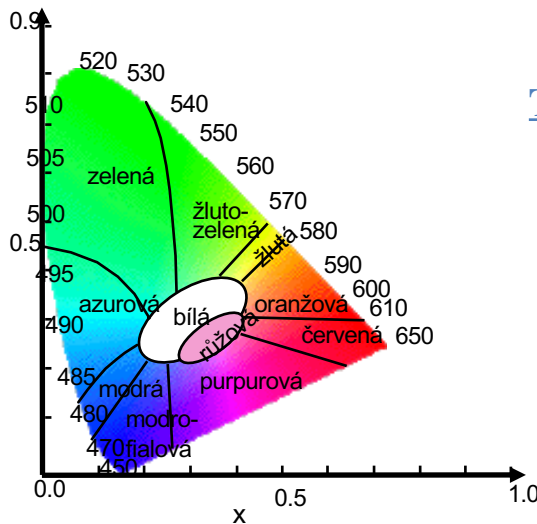
Trichromatické složky

$$X = \sum E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \Delta\lambda$$

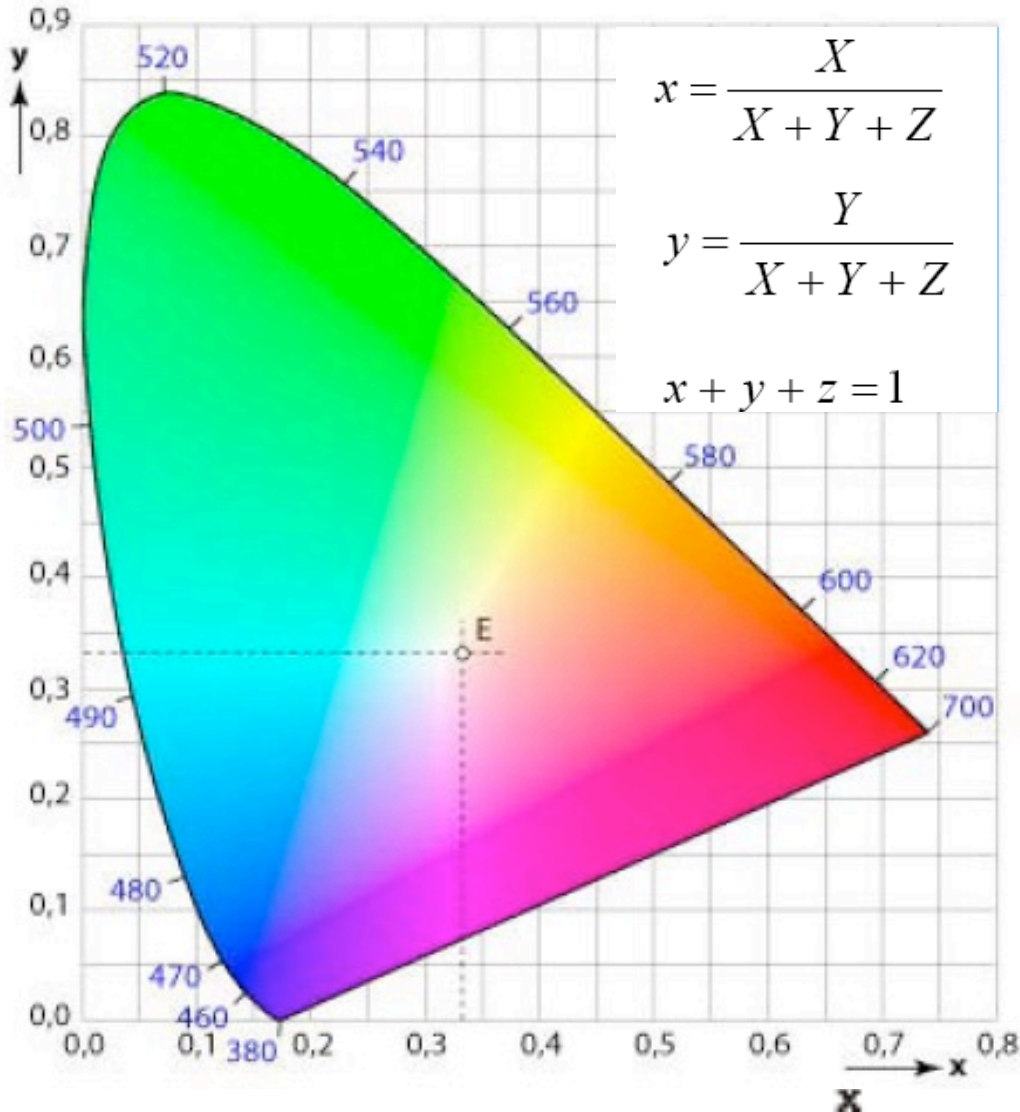
$$Y = \sum E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta\lambda$$

$$Z = \sum E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} \Delta\lambda$$

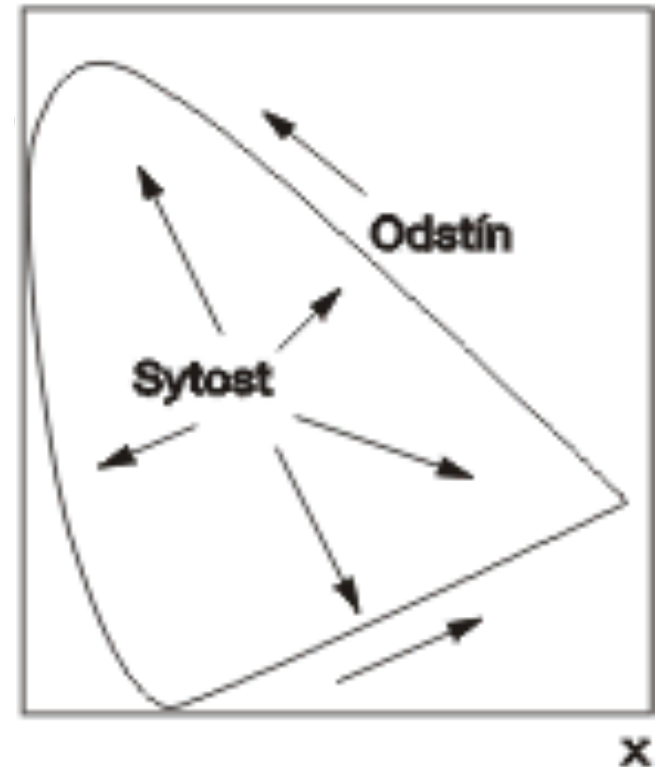
$$k = 100 / \int_{\lambda} E_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d\lambda$$



# Kolorimetrická soustava CIE XYZ - 1931



Trichromatické souřadnice



# Výhody a nevýhody soustavy CIE XYZ

## **Výhody**

**Je to mezinárodně uznávaný standard,  
odvozují se od něj další kolorimetrické  
soustavy**

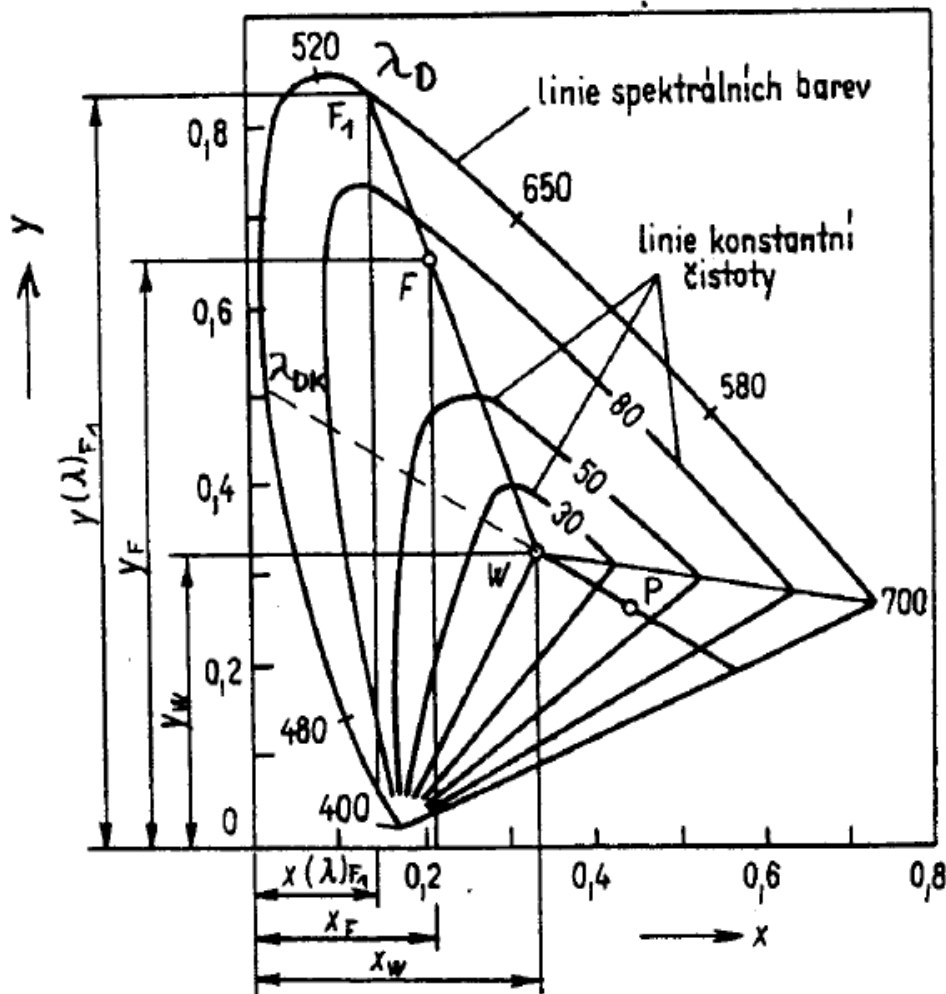
**Umožňuje popsat metamerii**

## **Nevýhody**

**Nerovnoměrné odstupňování barevných  
rozdílů**

**Obtížná představitelnost barevného odstínu na  
základě číselného popisu**

# Helmholtzova čísla ( $\lambda_D$ , $p_E$ )

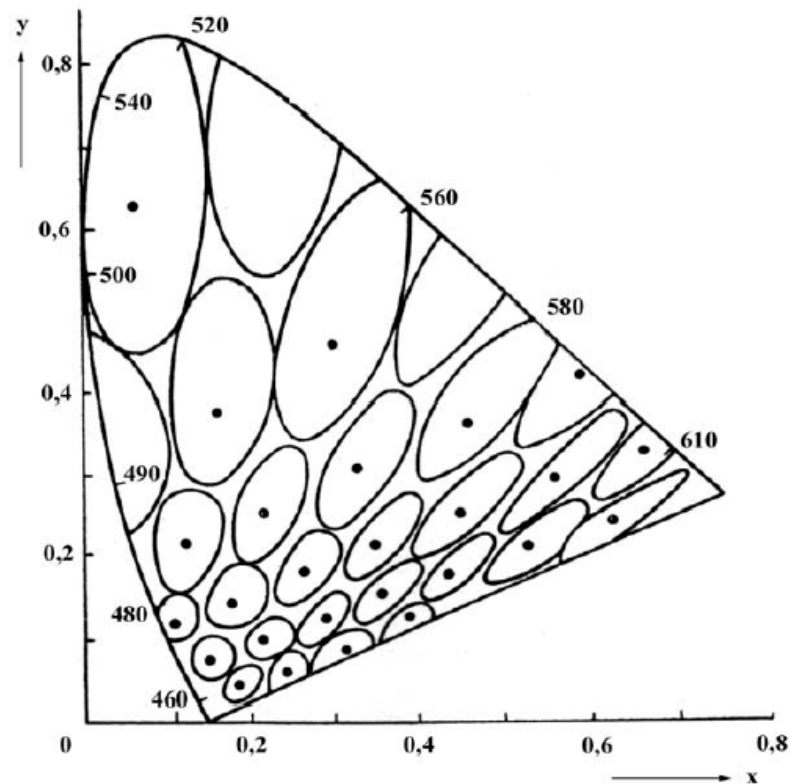
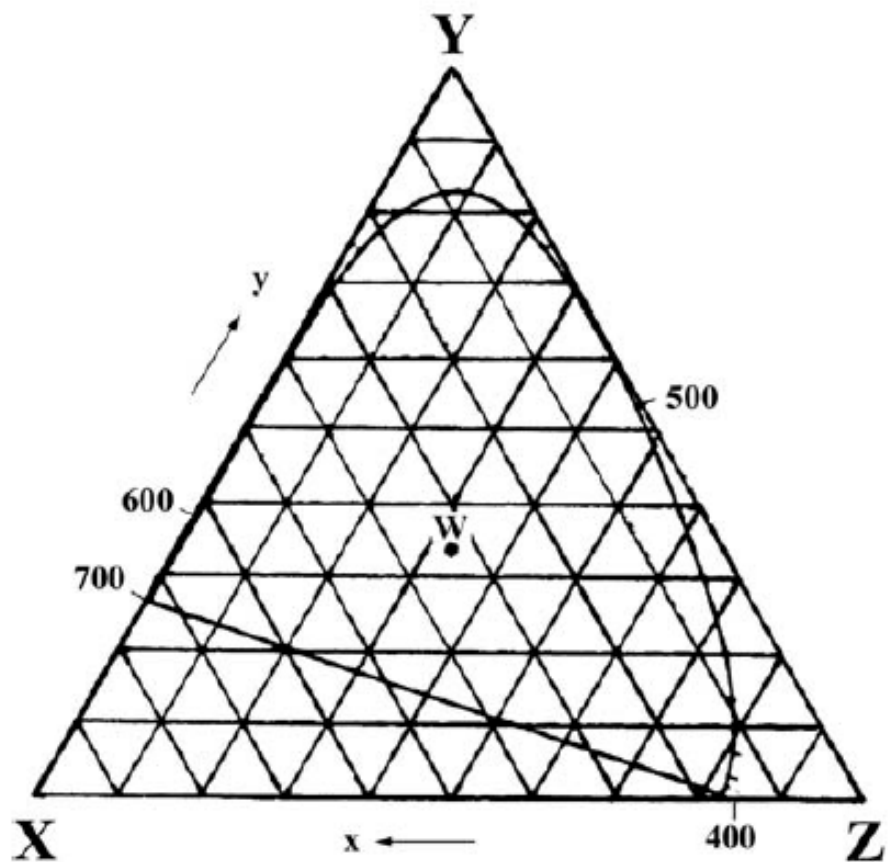


$\lambda_D$  - dominantní vlnová délka.

$$\frac{F W}{F_1 W} \cdot 100 = p_E$$

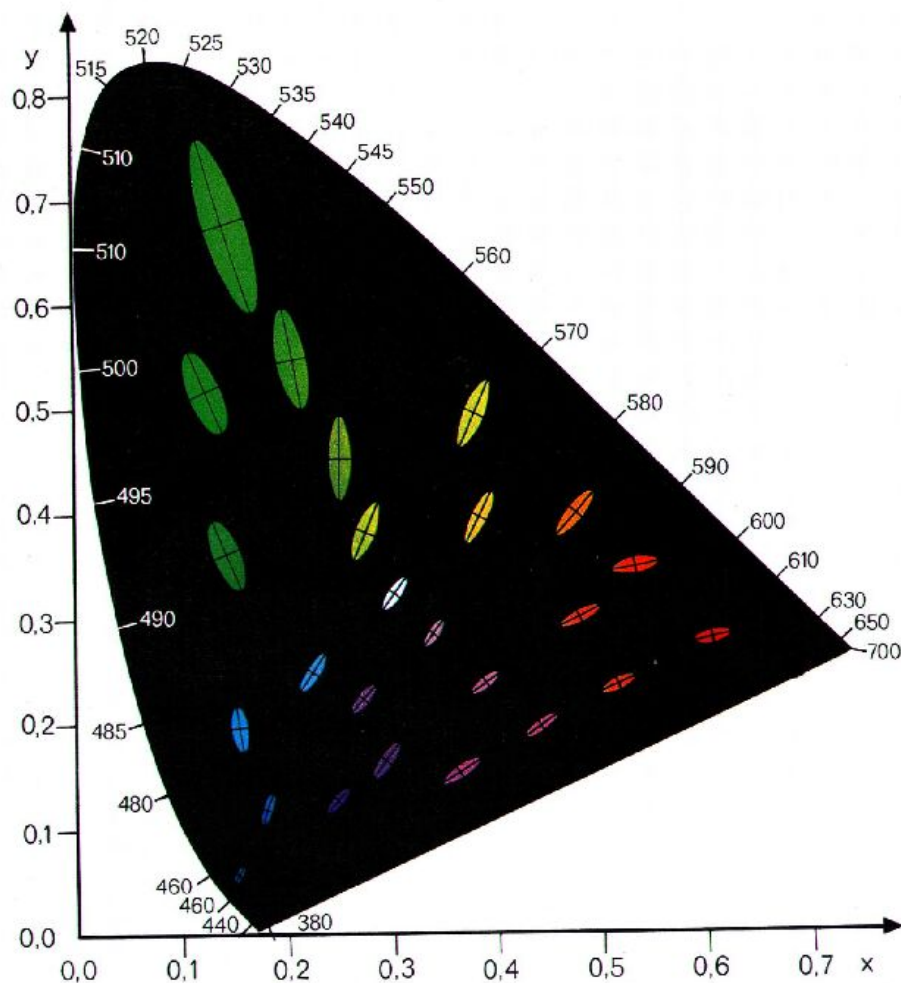
$$p_E = \frac{x_F - x_W}{x_{F_1} - x_W} = \frac{y_F - y_W}{y_{F_1} - y_W}$$

# Rozdíly barev v CIE $x, y$ kolorimetrickém trojúhelníku I



Obr. č. 3 Juddovy vizuálně jednotné elipsy v CIE  $xy$  diagramu

# Rozdíly barev v CIE x,y kolorimetrickém trojúhelníku II

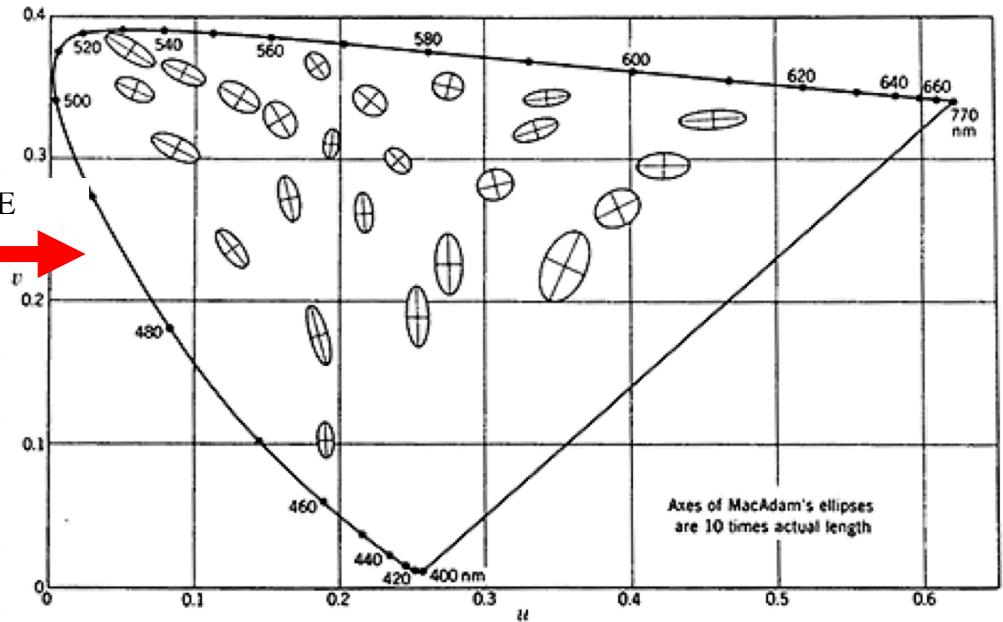
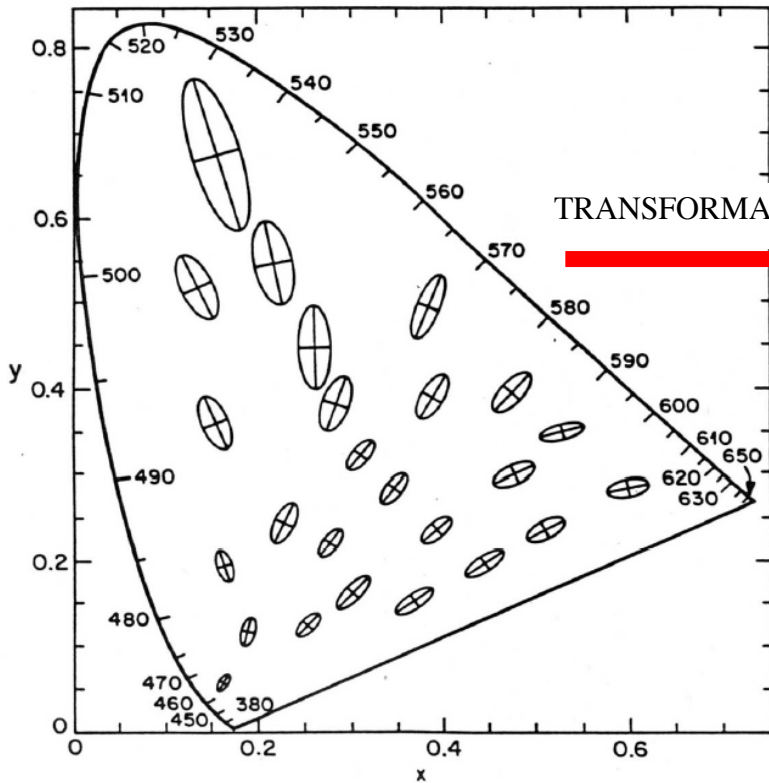


Hraniční citlivost lidského oka k posuzování barevných rozdílů podle MacAdama - 1942





# Přibližně vizuálně rovnoměrná kolorimetrická soustava - UCS



(b)  $u-v$  chromaticity diagram

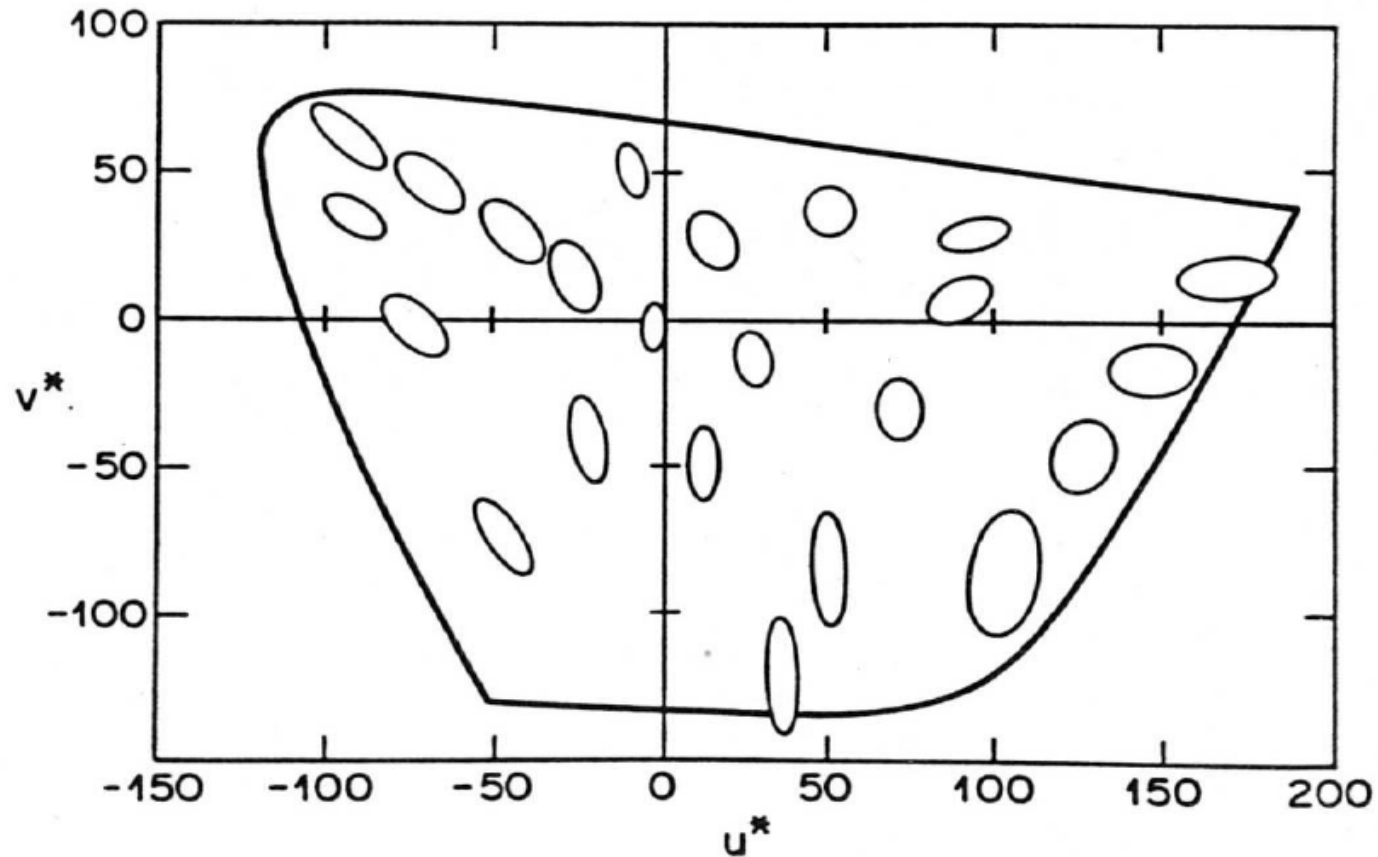
FIGURE 3.7-2. MacAdam's ellipses of just noticeable color differences in XYZ and U'V'W' coordinate systems (39). Axes of ellipses are 10 times actual length.

Lineární transformace:

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

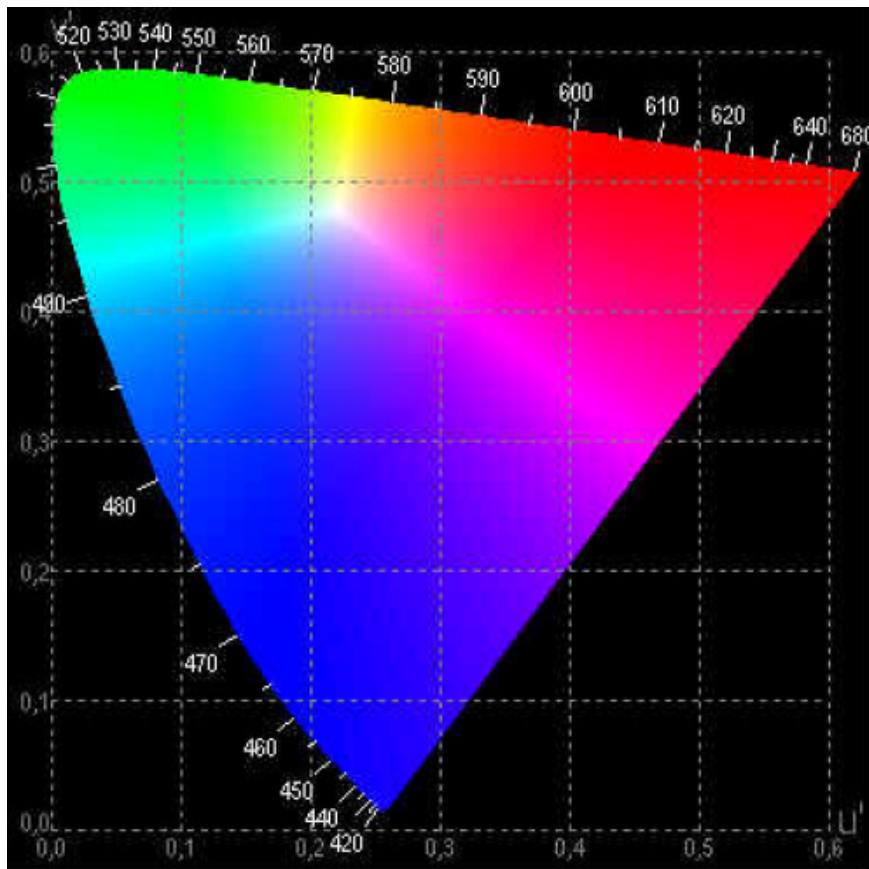
# Kolorimetrická soustava CIE $L^*u^*v^*$ I



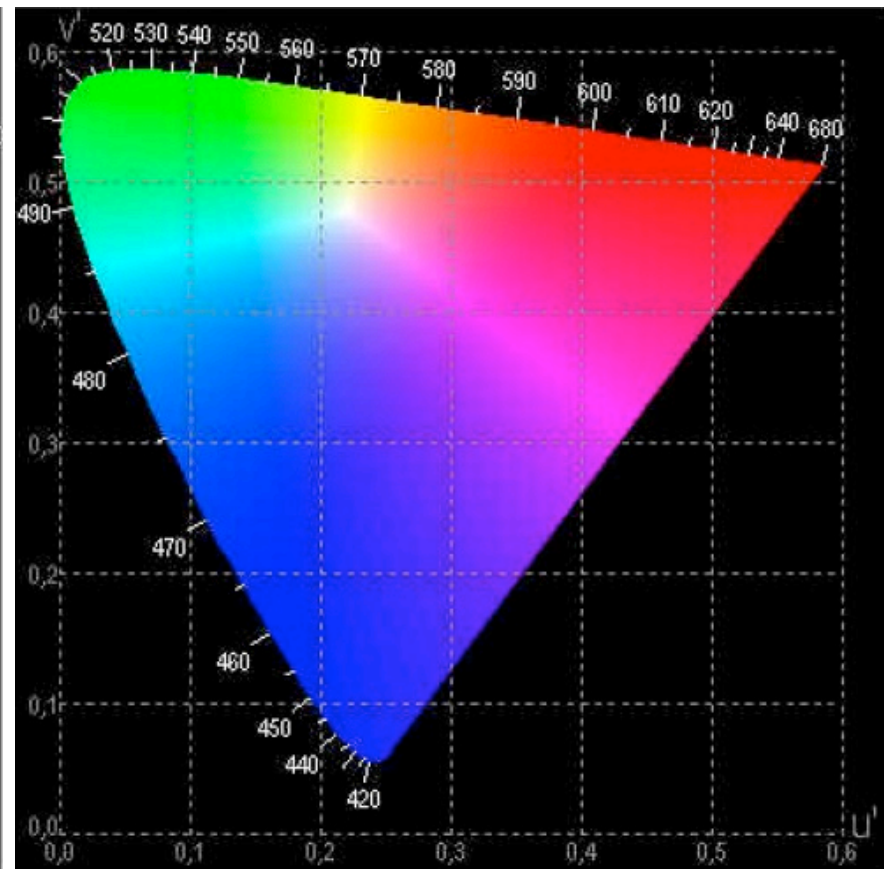
$$u^* = 13L^*(u' - u_0); \quad v^* = 13L^*(v' - v_0)$$

# Kolorimetrická soustava CIE $L^*u^*v^*$ II

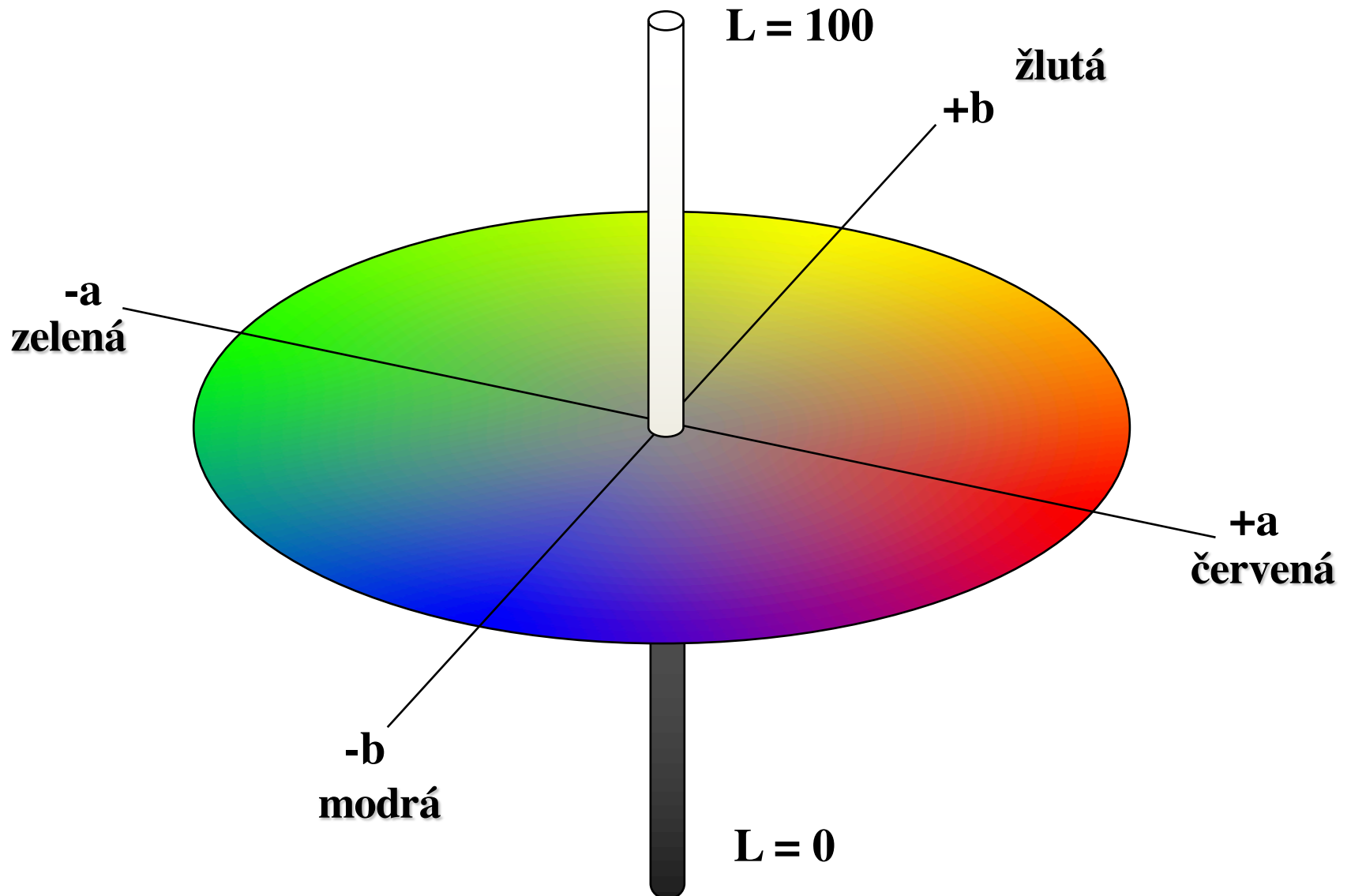
2° st.pozorovatel



10° st.pozorovatel



# Kolorimetrická soustava CIE $L^*a^*b^*$ I

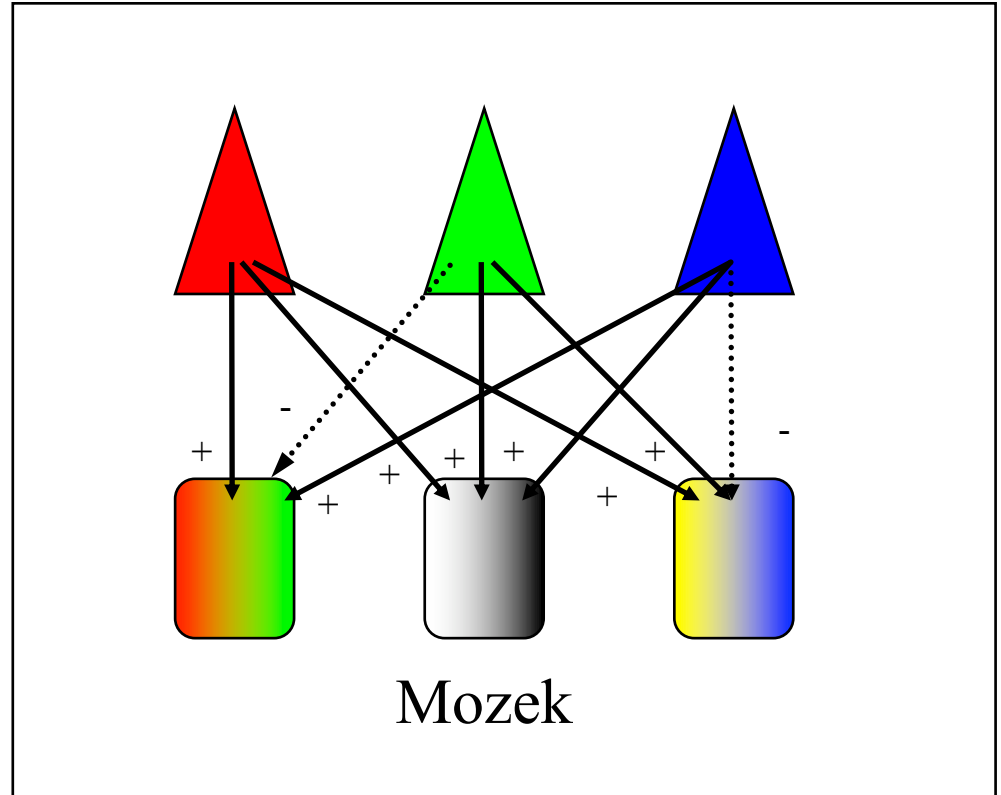


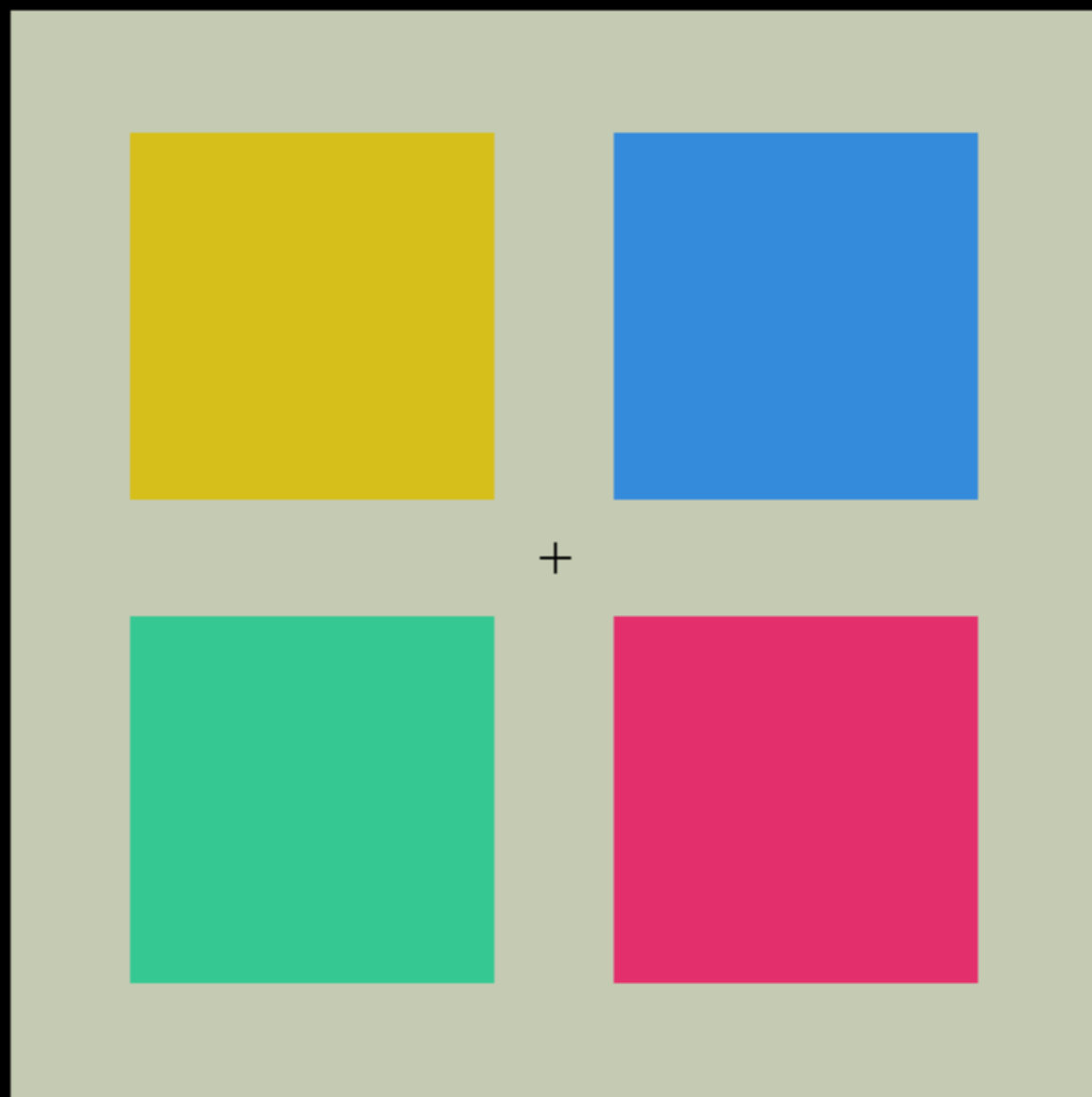
# Teorie oponentního vnímání barev - 1923



**Elliot Quincy Adams**

Sep 13, 1888 - Mar 12, 1971







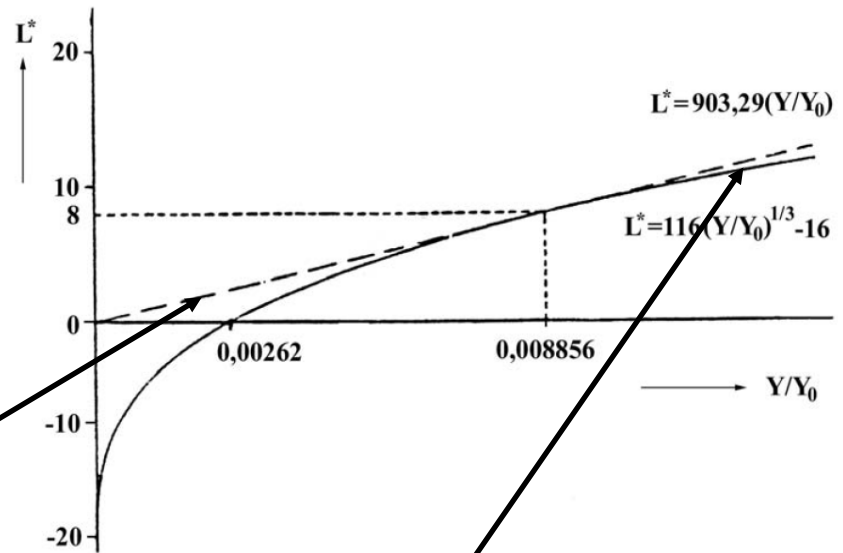


# Kolorimetrická soustava CIE L\*a\*b\* II

$$L^* = 116Y^* - 16,$$

$$a^* = 500[X^* - Y^*],$$

$$b^* = 200[Y^* - Z^*],$$



$$Y^* = 7,787\left(\frac{Y}{Y_0}\right) + 0,138$$

pro  $\frac{Y}{Y_0} \leq 0,008856$

$$X^* = \left(\frac{X}{X_0}\right)^{1/3}$$

pro  $\frac{X}{X_0} > 0,008856$

$$Z^* = \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{1/3}$$

pro  $\frac{Z}{Z_0} > 0,008856$

$$X^* = 7,787\left(\frac{X}{X_0}\right) + 0,138$$

pro  $\frac{X}{X_0} \leq 0,008856$

$$Z^* = 7,787\left(\frac{Z}{Z_0}\right) + 0,138$$

pro  $\frac{Z}{Z_0} \leq 0,008856$

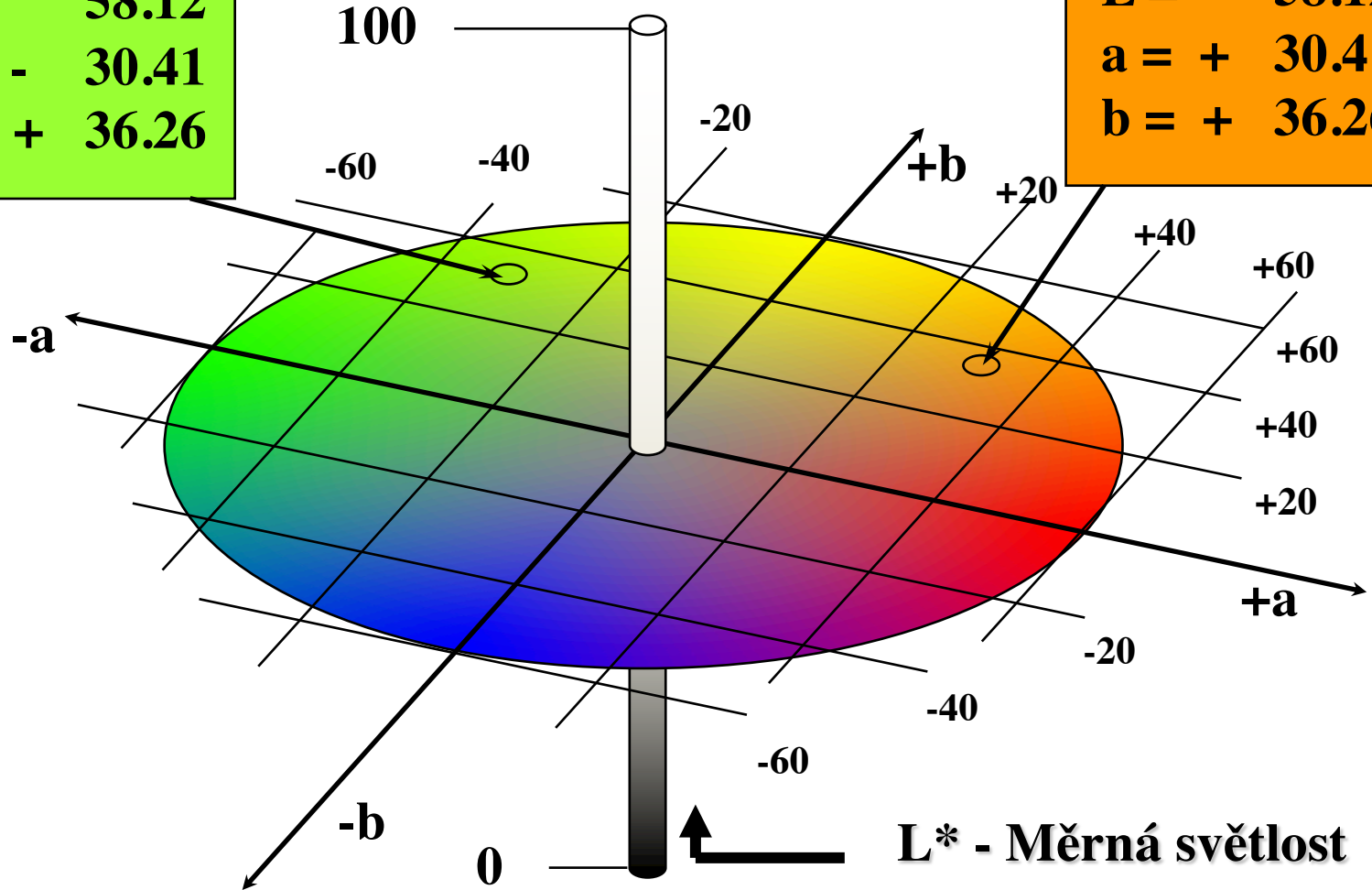
$$Y^* = \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3}$$

pro  $\frac{Y}{Y_0} > 0,008856$

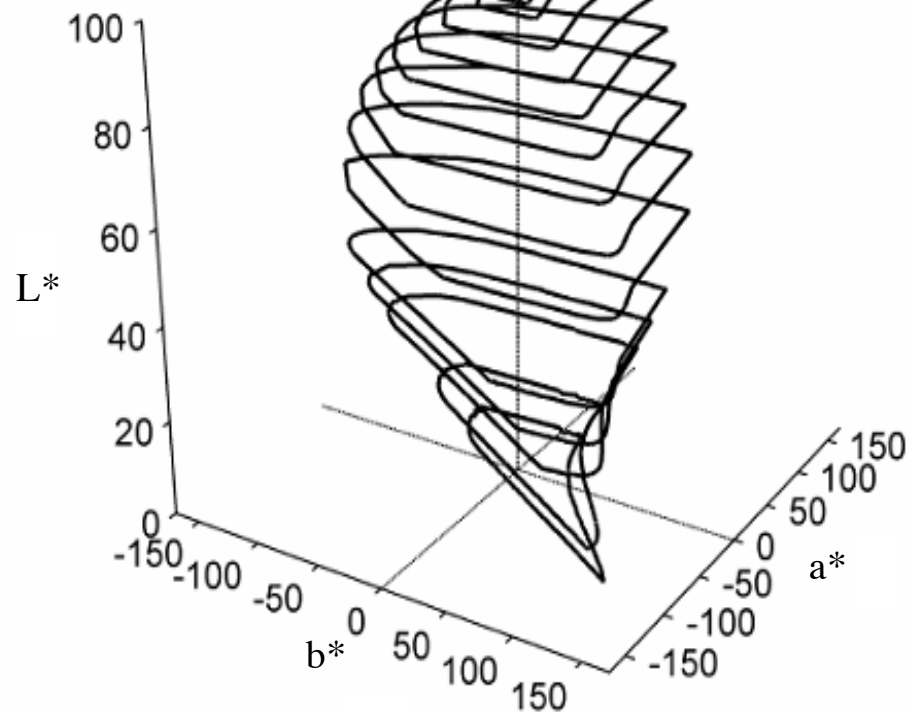
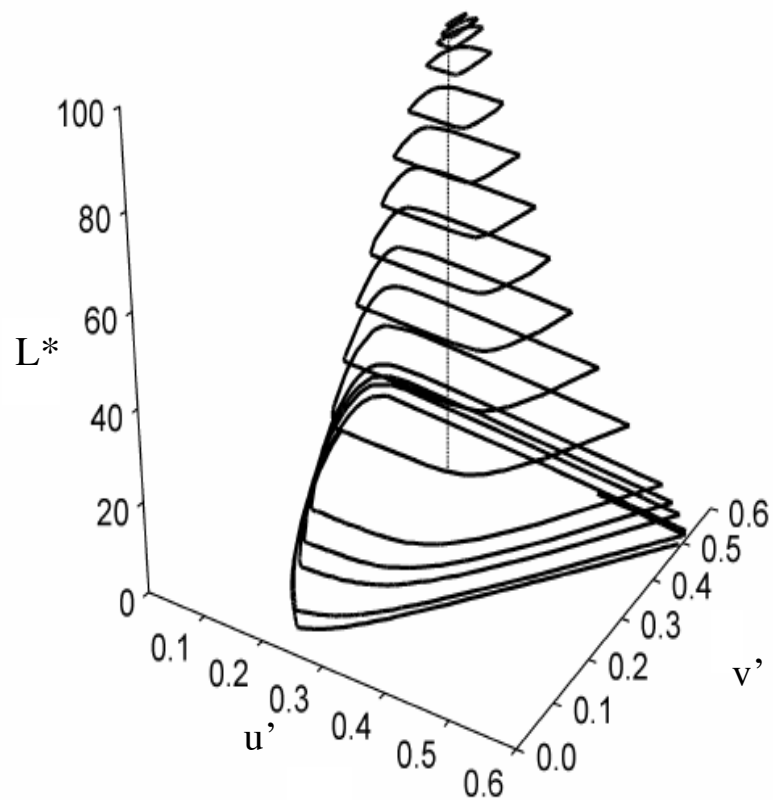
# Kolorimetrická soustava CIE $L^*a^*b^*$ III

**L = 58.12**  
**a = - 30.41**  
**b = + 36.26**

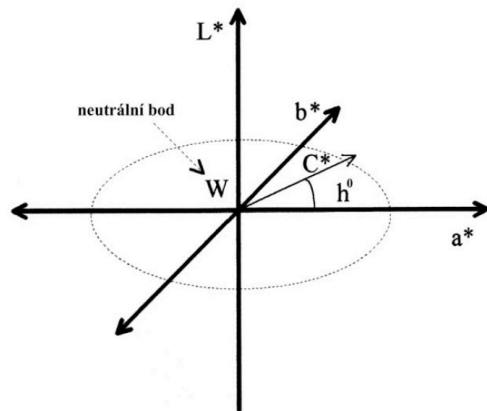
**L = 58.12**  
**a = + 30.41**  
**b = + 36.26**



# Těleso všech reálných barev barevných povrchů v kolorimetrických soustavách Luv a Lab



# CIELCH – cylindrický prostor a výpočet rozdílu barev $dE^*$



$$L^* = 116Y^* - 16,$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2},$$

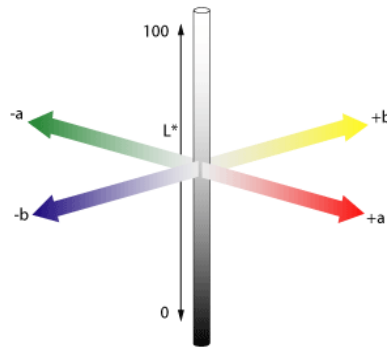
$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \text{ nabývá hodnot } 0\text{-}360^\circ.$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$\Delta L^* = L_{2(\text{vzorku})}^* - L_{1(\text{předlohy})}^*,$$

$$\Delta a^* = a_{2(\text{vzorku})}^* - a_{1(\text{předlohy})}^*,$$

$$\Delta b^* = b_{2(\text{vzorku})}^* - b_{1(\text{předlohy})}^*.$$

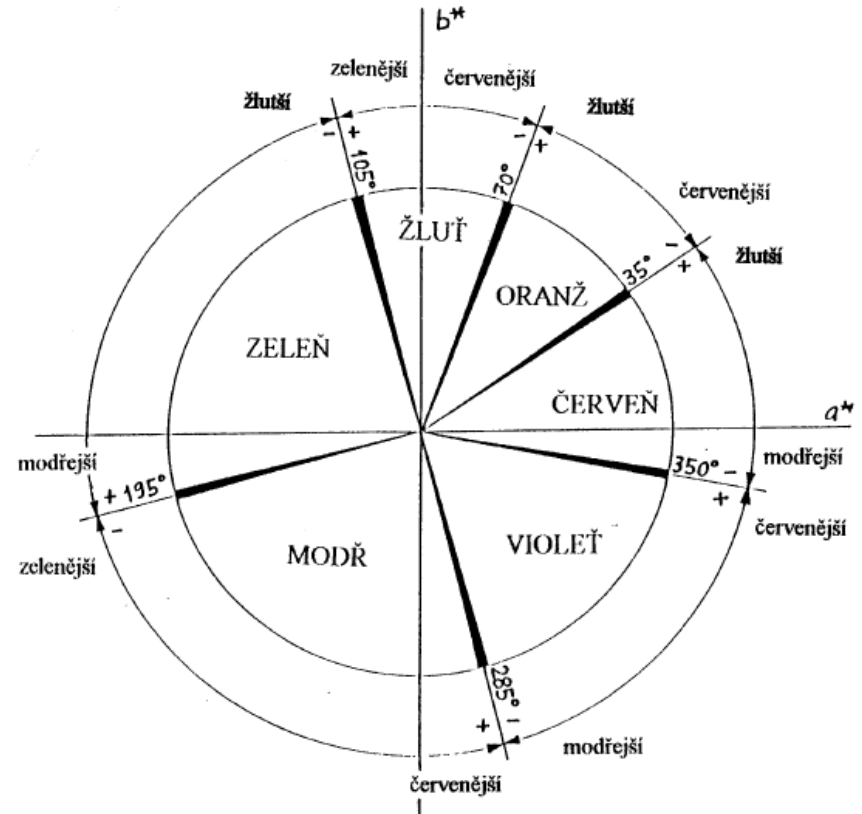
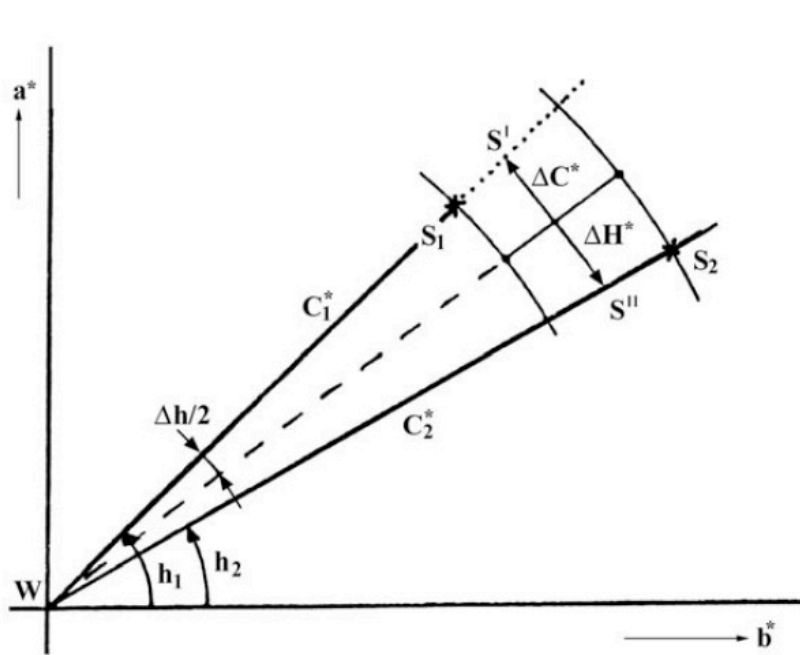


$$\Delta L^* = L_{2(\text{vzorku})}^* - L_{1(\text{předlohy})}^*,$$

$$\Delta C^* = C_{2(\text{vzorku})}^* - C_{1(\text{předlohy})}^*,$$

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta C^*)^2 - (\Delta L^*)^2}$$

# CIELAB – problém výpočtu odstínové odchylky



$$\Delta H^* = \sqrt{2C_1^* C_2^* (1 - \cos \Delta h^\circ)} \quad - \text{Huntsman / 71 /}$$

$$\Delta H^* = 2\sqrt{C_1^* C_2^*} \sin(\Delta h^\circ / 2) \quad - \text{Séve / 72 /}$$

$$\Delta H^* = s\sqrt{2(C_1^* C_2^* - a_1^* a_2^* - b_1^* b_2^*)} \quad - \text{Stokes-Brill / 73 /}$$

$$s = 1 \quad \text{pro} \quad a_1^* b_2^* > a_2^* b_1^* \quad \quad s = -1 \quad \text{pro} \quad a_1^* b_2^* \leq a_2^* b_1^*$$