

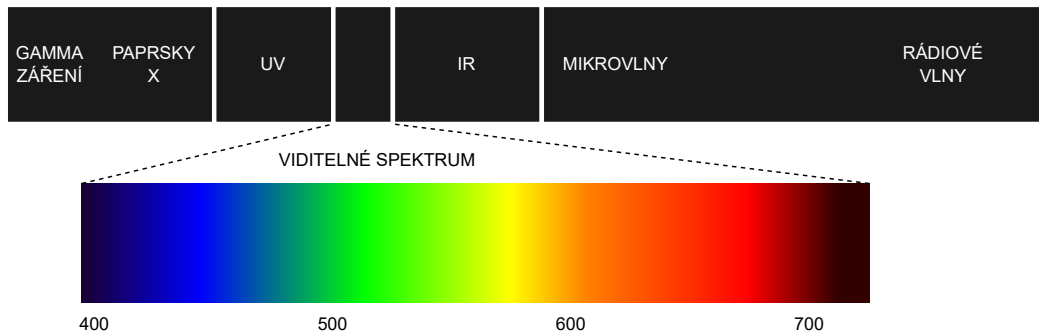


# Barevné obrazy

## Úvod do analýzy obrazu

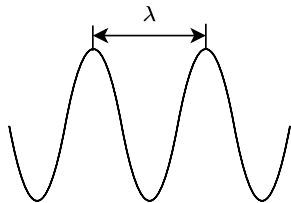
Mgr. Markéta Trnečková, Ph.D.

# Elektromagnetické spektrum



# Elektromagnetické spektrum

- **Vlnová délka:**  $\lambda$
- **Frekvence:**  $\nu$
- $\lambda = \frac{c}{\nu}$
- $c = 2.998 \cdot 10^8$  m/s (rychlost světla)
- **Energie:**  $E$
- $E = h \cdot \nu$
- $h = 6.6252 \cdot 10^{-34}$  Js (Planckova konstanta)



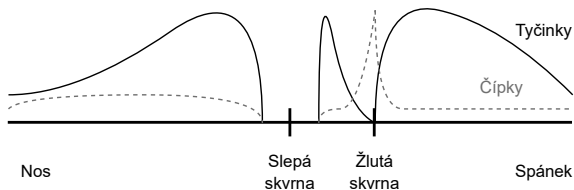
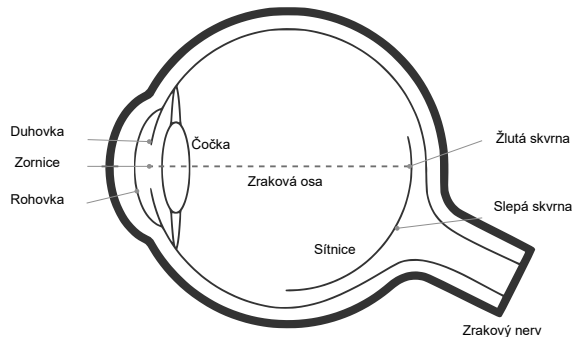
# Viditelné spektrum

- **Bílé světlo**
- **Barva**: odražené paprsky
- **Monochromatické** (achromatické): všechny složky stejně zastoupené
- **Jas**, stupně šedi
- **Chroma**: barva
- **Radiance**: celkové množství energie
- **Luminance**: množství energie, které pozorovatel vnímá
- **Saturace**: čistota barvy světla
- **Světlost**: velikost achromatické složky ve světle

# Lidské oko

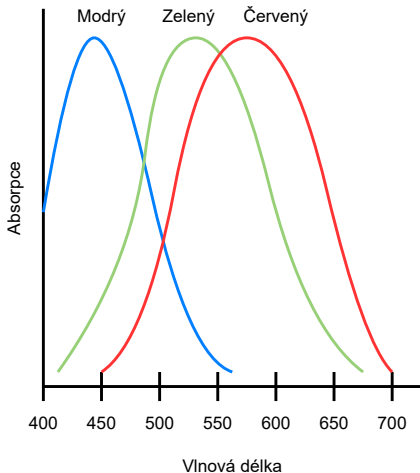
- Rohovka
- Duhovka
- Zornice
- Čočka
- Sítnice
- Fotoreceptory:

- tyčinky
- čípky



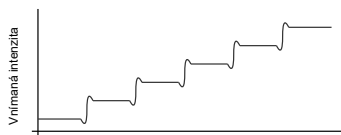
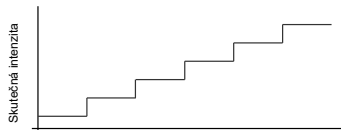
# Fotoreceptory

- **Tyčinky:** reagují i na velmi malé změny nízké úrovně osvětlení
- **Čípky:** základ barevného vidění
- **Fotopigmenty:**
  - Červený
  - Zelený
  - Modrý
- **Zrakový nerv:** rekombinace barev
  - poměr červené a zelené
  - poměr žluté (ta vznikne kombinací zelené a červené) a modré
  - zelená a červená

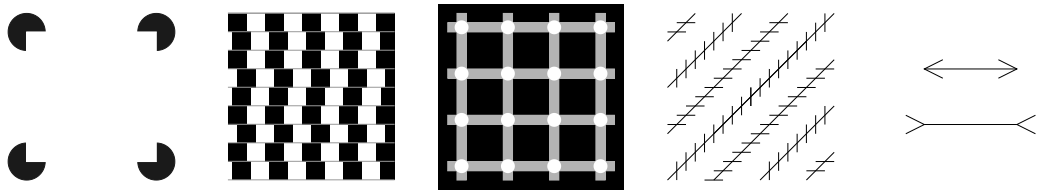


# Intenzita jasu

- Lidské oko se adaptuje
- Lidské oko zesiluje subjektivní intenzitu na hranicích mezi intenzitami
- **Simultánní kontrast** – jasová hodnota je ovlivněna pozadím

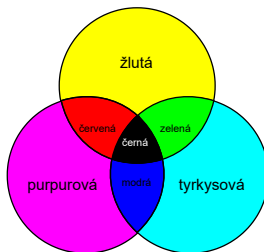
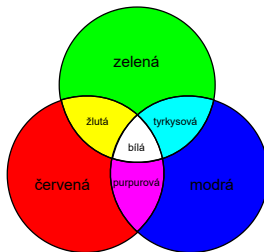


## Doplnění informace



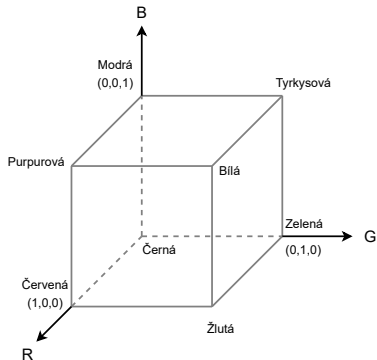
# Barevné modely

- Základ v lidském vizuálním systému
- **Primární barvy:**
  - červená (red) – 700 nm
  - zelená (green) – 546.1 nm
  - modrá (blue) – 435.8 nm
- **Aditivní skládání barev**
- **Sekundární barvy** (primární barvy pigmentů):
  - tyrkysová (cyan)
  - purpurová (magenta)
  - žlutá (yellow)
- **Subtraktivní skládání barev**
- **Barevný prostor**, barevný model



# Barevný model RGB

- **3 složky:** červená (R), zelená (G) a modrá (B)
- **Barvy:** body  $(r, g, b)$



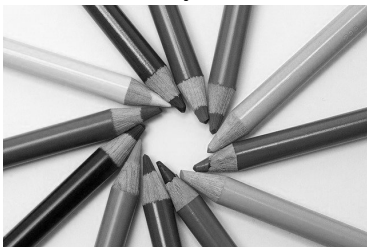
# Barevný model RGB



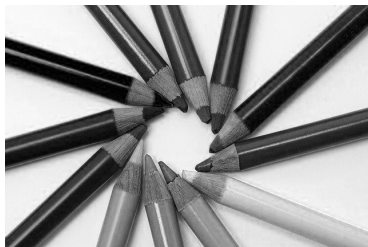
Barevný obraz



Červená složka



Zelená složka



Modrá složka

## Barevný model RGB – stupně šedi

Průměr ze složek



$$I = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

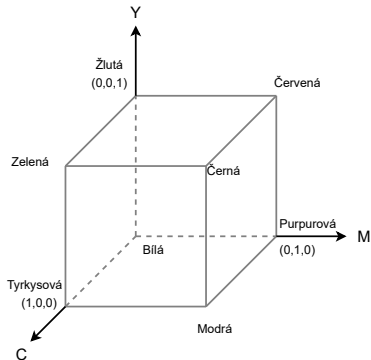


# Barevný model RGBA

- Rozšíření modelu RGB
- A (alpha) – průhlednost

# Barevný model CMY

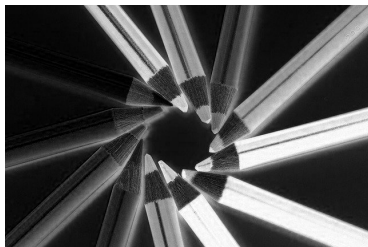
- **3 složky:** tyrkysová (C), purpurová (M) a žlutá (Y)
- **Barvy:** body  $(c, m, y)$



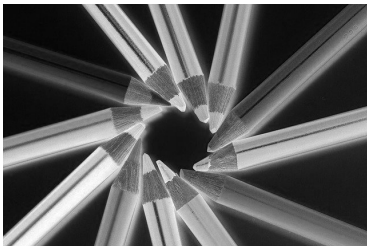
## Barevný model CMY



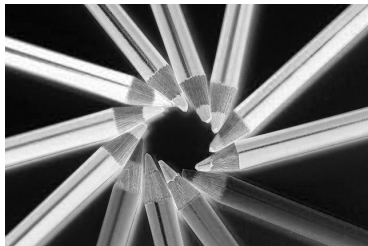
Barevný obrázek



Tyrkysová složka



Purpurová složka



Žlutá složka

# Převod mezi CMY a RGB

## ■ RGB do CMY:

–  $C = 1 - R$ ,  $M = 1 - G$ ,  $Y = 1 - B$

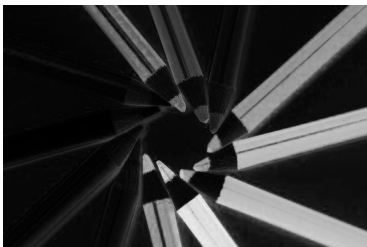
## ■ CMY do RGB:

–  $R = 1 - C$ ,  $G = 1 - M$ ,  $B = 1 - Y$

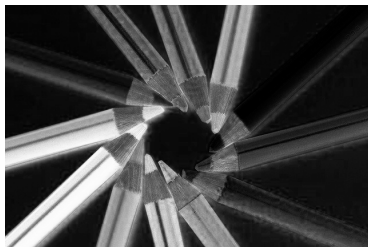
# Barevný model CMYK

- **4 složky:** tyrkysová (C), purpurová (M), žlutá (Y) a černá (black)
- **CMY do CMYK:**
  - $K = \min(C, M, Y)$
  - Pokud  $K = 1$ , ostatní 0
  - Jinak  $C = (C - K)/(1 - K)$ ,  $M = (M - K)/(1 - K)$  a  $Y = (Y - K)/(1 - K)$
- **CMYK do CMY:**
  - $C = C(1 - K) + K$ ,  $M = M(1 - K) + K$  a  $Y = Y(1 - K) + K$

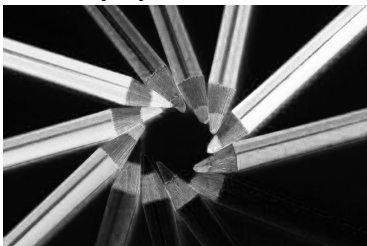
# Barevný model CMYK



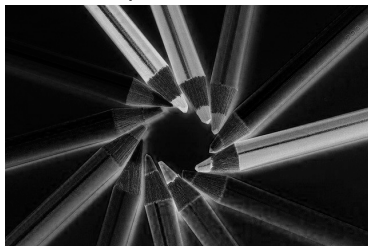
Tyrkysová složka



Purpurová složka



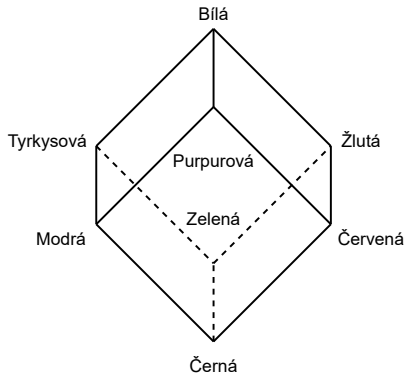
Žlutá složka



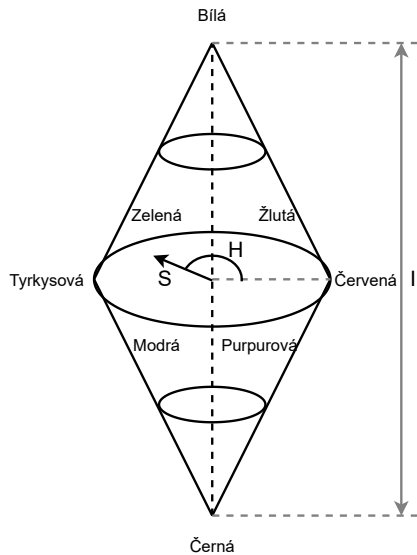
Černá složka

# Barevný model HSI

- Intuitivnější pro člověka
- **3 složky**: odstín barvy (hue H), saturace – čistota barvy (S) a intenzita (I)
- **Barvy**: body ( $h, s, i$ )



# Barevný model HSI



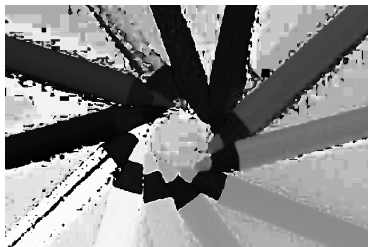
## Převod RGB do HSI

- $H = \begin{cases} \theta, & \text{pro } B \leq G \\ 360 - \theta, & \text{jinak} \end{cases}$   
 $\theta = \cos^{-1}\left(\frac{1/2[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{[(R-G)^2+(R-B)(G-B)]}}\right)$
- $S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)}[\min(R, G, B)]$
- $I = \frac{1}{3}(R + G + B)$

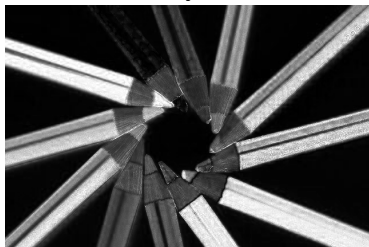
## Barevný model HSI



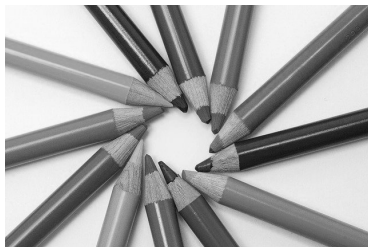
Barevný obraz



Hue



Saturation



Intensity

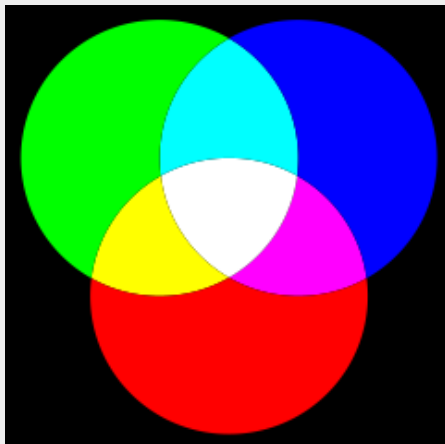
## Další modely

- **Podobné HSI:** HSV, HSL
- **Oddělení barevné a jasové složky:** YCbCr
- **Nezávislé na zobrazovacím zařízení:** CIE

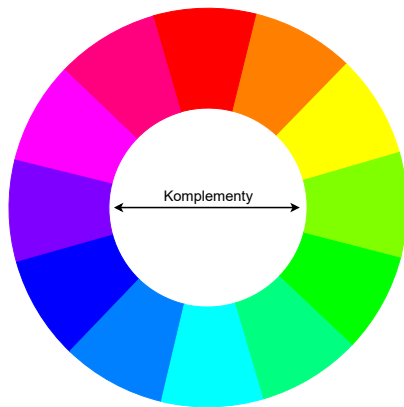
## Příklad

Příklad

Načrtněte, jak by vypadaly jednotlivé barevné složky následujícího obrázku v RGB modelu.



# Teorie barev



# Úprava každé složky zvlášť

- $s_j = T_j(r_j)$ ,
- $j = 1, 2, \dots, n$  ( $n$  počet složek)

# Změna jasu

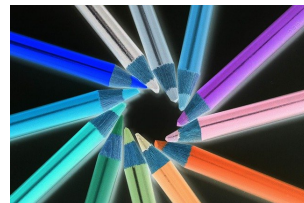
- V **RGB** všechny složky
- $s_j = r_j + k$
- V **HSI** pouze jasová složka I
- $s_i = r_i + k, s_j = r_j$ , pro  $j \in \{h, s\}$

# Barevný komplement

- V **RGB** všechny složky
- $s_r = 1 - r_r$ ,  $s_g = 1 - r_g$ ,  $s_b = 1 - r_b$
- V **HSI** není přímočaré



Původní obrázek.



Komplement.

# Tónování

- V **RGB** všechny složky
- gamma korekce se stejným gamma



Původní obrázek.



Tónování s  $\gamma = 1.5$ .



Původní obrázek.



Tónování s  $\gamma = 0.5$ .

# Barevná korekce

- V **RGB** jedna složka
- gamma korekce



Původní obrázek.



R,  $\gamma = 1.5$ .



R,  $\gamma = 0.5$ .



Původní obrázek.



G,  $\gamma = 1.5$ .



G,  $\gamma = 0.5$ .



Původní obrázek.



B,  $\gamma = 1.5$ .



B,  $\gamma = 0.5$ .

## Vyvážení bílé

- V **RGB** všechny složky
- $s_j = r_j \cdot \frac{avg}{avg_j}$
- $j \in \{r, g, b\}$ , *avg* průměrná jasová hodnota obrázku



Původní obrázek.



Vyvážení bílé.

## Vyrovnnání histogramu

- V **RGB** všechny složky
- V obraze se objevují i barvy, které v původním nebyly
- V **HSI** složka I



Původní obrázek.



V RGB.



Původní obrázek.



V HSI.

## Práce přímo s barevnými pixely

$$g_r = a_{11}f_r + a_{12}f_g + a_{13}f_b$$

$$g_g = a_{21}f_r + a_{22}f_g + a_{23}f_b$$

$$g_b = a_{31}f_r + a_{32}f_g + a_{33}f_b$$

### Maticově

$$T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

### S průhledností a offsetem

$$T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix}$$

## Příklady

### Změna jasu

$$T_1 = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ k & k & k & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### Zvýraznění barev

$$T_2 = \begin{bmatrix} s_r + s & s_r & s_r & 0 & 0 \\ s_g & s_g + s & s_g & 0 & 0 \\ s_b & s_b & s_b + s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matice můžeme skládat (násobení matic)

## Příklady

### Šedotónový obraz

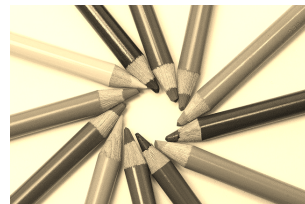
$$\begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 & 0 & 0 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 & 0 & 0 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## Sépie efekt

$$\begin{bmatrix} 0.393 & 0.349 & 0.272 & 0 & 0 \\ 0.769 & 0.686 & 0.534 & 0 & 0 \\ 0.189 & 0.168 & 0.131 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Původní obrázek.



Sépie.

## Výměna barevných složek (RGB do BGR)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Původní obrázek.



BGR.

# Polaroid

$$\begin{bmatrix} 1.438 & -0.062 & -0.062 & 0 & 0 \\ -0.122 & 1.378 & -0.122 & 0 & 0 \\ -0.016 & -0.016 & 1.483 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -0.03 & 0.05 & -0.02 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Původní obrázek.



BGR.

## Ořezání barev

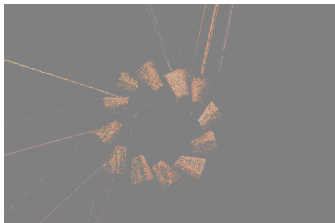
$$s_i = \begin{cases} 0.5 & \text{pokud } |r_j - a_j| > \frac{W}{2} \text{ pro libovolné } j \in 1, \dots, n \\ r_i & \text{jinak} \end{cases}$$

Případně

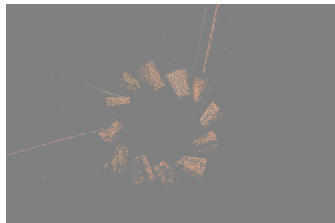
$$s_i = \begin{cases} 0.5 & \text{pokud } \sum_{j=1}^n (r_j - a_j)^2 > R^2 \\ r_i & \text{jinak} \end{cases}$$



Původní obrázek.



Výsledný obraz.



Výsledný obraz.

## Filtrování barevných obrázků

- nepracujeme s intenzitami, každý pixel = vektor hodnot

# Filtrování barevných obrázků – Průměrování

## RGB

$$g(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{(2a+1) \cdot (2b+1)} \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b f_r(x+s, y+t) \\ \frac{1}{(2a+1) \cdot (2b+1)} \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b f_g(x+s, y+t) \\ \frac{1}{(2a+1) \cdot (2b+1)} \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b f_b(x+s, y+t) \end{bmatrix}$$

## HSI

pouze jasová složka I

## Filtrování barevných obrázků – Průměrování



Původní obraz.



Filtrace v RGB.



Filtrace v HSI.

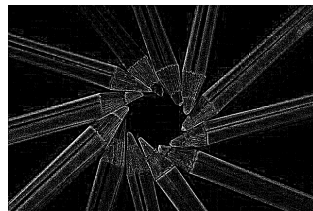
## Filtrování barevných obrázků – Průměrování



Filtrace v RGB.



Filtrace v HSI.



Rozdíl.

## Filtrování barevných obrázků – Ostření

### RGB

$$g(x, y) = \begin{bmatrix} \nabla^2 = f_r(x+1, y) + f_r(x-1, y) + f_r(x, y+1) + f_r(x, y-1) - 4f_r(x, y) \\ \nabla^2 = f_g(x+1, y) + f_g(x-1, y) + f_g(x, y+1) + f_g(x, y-1) - 4f_g(x, y) \\ \nabla^2 = f_b(x+1, y) + f_b(x-1, y) + f_b(x, y+1) + f_b(x, y-1) - 4f_b(x, y) \end{bmatrix}$$

### HSI

pouze jasová složka I

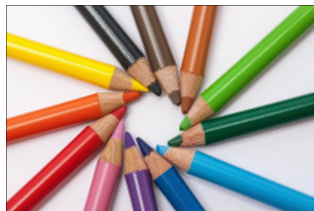
## Filtrování barevných obrázků – Ostření



Původní obraz.



Filtrace v RGB.



Filtrace v HSI.

# Transformace barev

- polotónování (halftoning)
- rozptylování (dithering)
  - náhodné rozptýlení
  - pravidelné (maticové) rozptýlení
  - distribuce zaokrouhlovací chyby

# Transformace barev

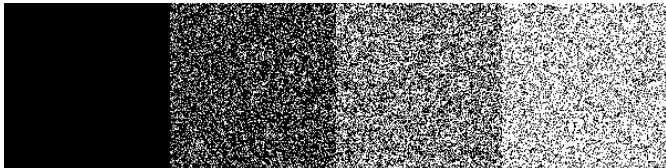
- **Vstup:**  $f$  ( $[0, f_{max}]$ )
- **Výstup:**  $g$  ( $\{0, 1\}$ )



# Náhodné rozptýlení

1  $g(x, y) = 0$

2 Pokud  $f(x, y) > \text{random}(f_{\max})$   
 $g(x, y) = g(x, y) + 1$



## Maticové rozptýlení

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$f = 0$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$f = 1$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$f = 2$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

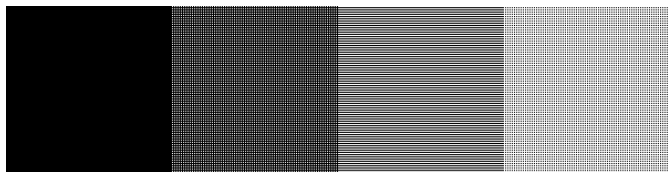
$f = 3$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

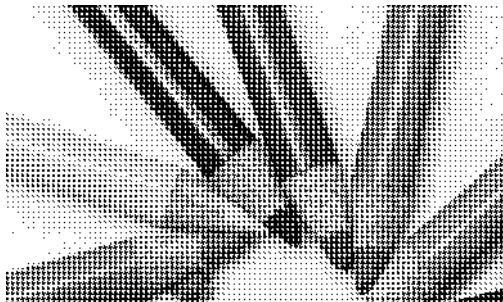
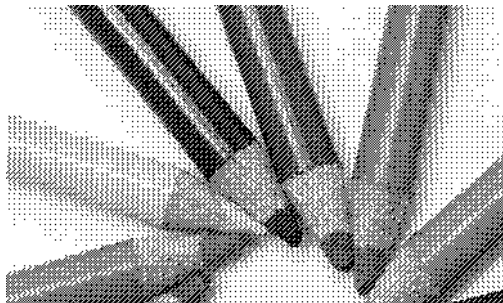
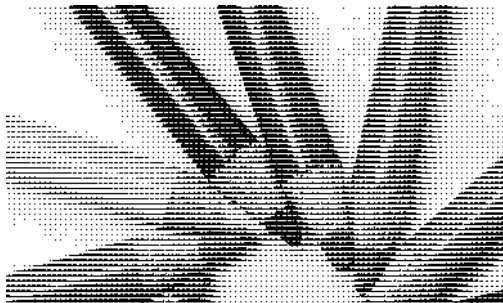
$f = 4$

$$\begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

zkráceně



## Maticové rozptýlení



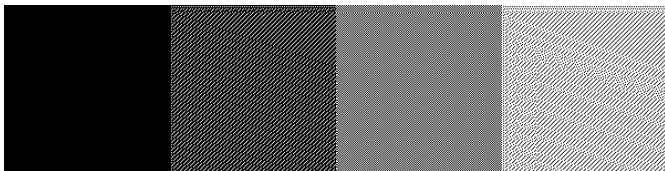
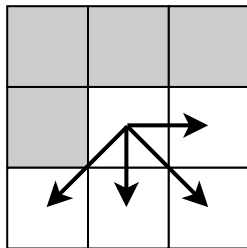
# Maticové rozptýlení

1  $g(x, y) = 0$

2 Pokud  $f(x, y) > M(x \bmod n, y \bmod n)$   
 $g(x, y) = g(x, y) + 1$

## Distribuce zaokrouhlovací chyby

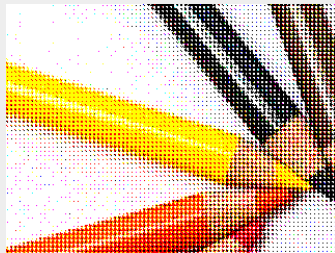
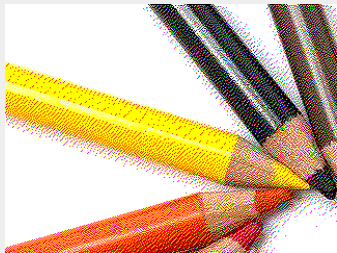
- **Chyba:**  $e = f(x,y) - g(x,y)$
- **Floyd-Steinberg:**  
7/16, 3/16, 5/16 a 1/16



## Barevné rozptylování

Příklad

Určete, jakou metodou rozptylování jsme dostali následující obrázky.

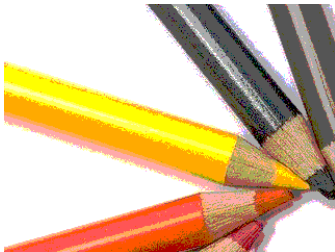


# Barevná paleta

- univerzální
- přizpůsobená obrazu



Původní obraz



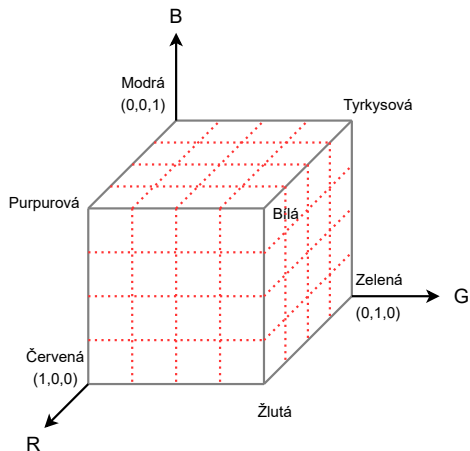
Univerzální paleta



Přizpůsobená paleta

# Přednastavené

- Vybrané barvy
- Pravidelně rozdělený barevný prostor



## 3-3-2 paleta

■ **Barev:** 256

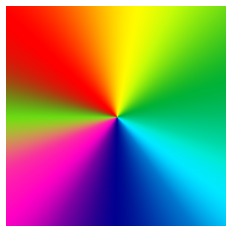
■ **Výpočet:**

$$r = ((i \gg 5) \cdot 255) / 7$$

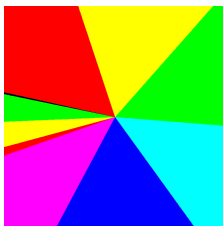
$$g = (((i \gg 2) \& 7) \cdot 255) / 7$$

$$b = ((i \& 3) \cdot 255) / 3$$

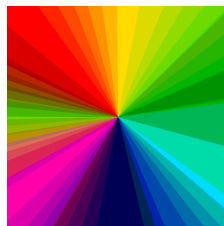
■ **Index:**  $i = (((r \cdot 7) / 255) \ll 5) + (((g \cdot 7) / 255) \ll 2) + ((b \cdot 3) / 255)$



Původní obrázek



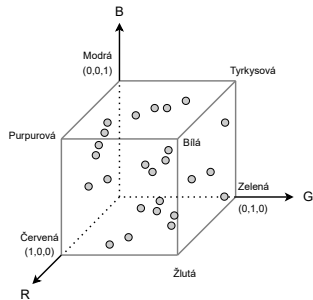
1-1-1 paleta



3-3-2 paleta

# Paleta přizpůsobená obrazu

- **Tečky:** četnost barvy
- Dělíme prostor řezy rovnoběžnými s osami:
  - Začátek: 1 oblast
  - dokud nemáme předepsaný počet oblastí:
    - najdeme oblast s největším rozměrem v jedné z os
    - rozdělíme tuto oblast řezem kolmým na vybranou souřadnicovou osu
  - každou oblast nahradíme jednou barvou



## Příklad

**Oblast:** dva pixely s hodnotou (13, 10, 50), tři pixely s hodnotou (20, 20, 0), jeden (50, 10, 50) a sedm (125, 30, 20)

Jak tuto oblast budeme dělit?

## Paleta přizpůsobená obrazu

### Příklad

Předpokládejme, že máme paletu obrazu danou těmito barvami: (182, 254, 184), (65, 216, 145) (130, 237, 191), (16, 57, 122) a (21, 247, 56). Pro následující barvy najdete nejbližší z palety.

- (218, 93, 16)
- (207, 91, 172)
- (12, 12, 168)