



Ústav automatizace a informatiky
Fakulta strojního inženýrství
Vysoké učení technické v Brně

Přednáška 4. z předmětu

Počítače a grafika

Ing. Radek Poliščuk, Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah přednášky

- **Přednáška 4 – Barvy a barevné systémy:**
 - ▶ Světlo a jeho barva
 - ▶ Lidské barevné vidění
 - ▶ Barevné systémy.
 - ▶ Úvod do problematiky řízení barev.

$$E = mc^2$$

$$\text{Barva} \neq [\text{R}, \text{G}, \text{B}]$$

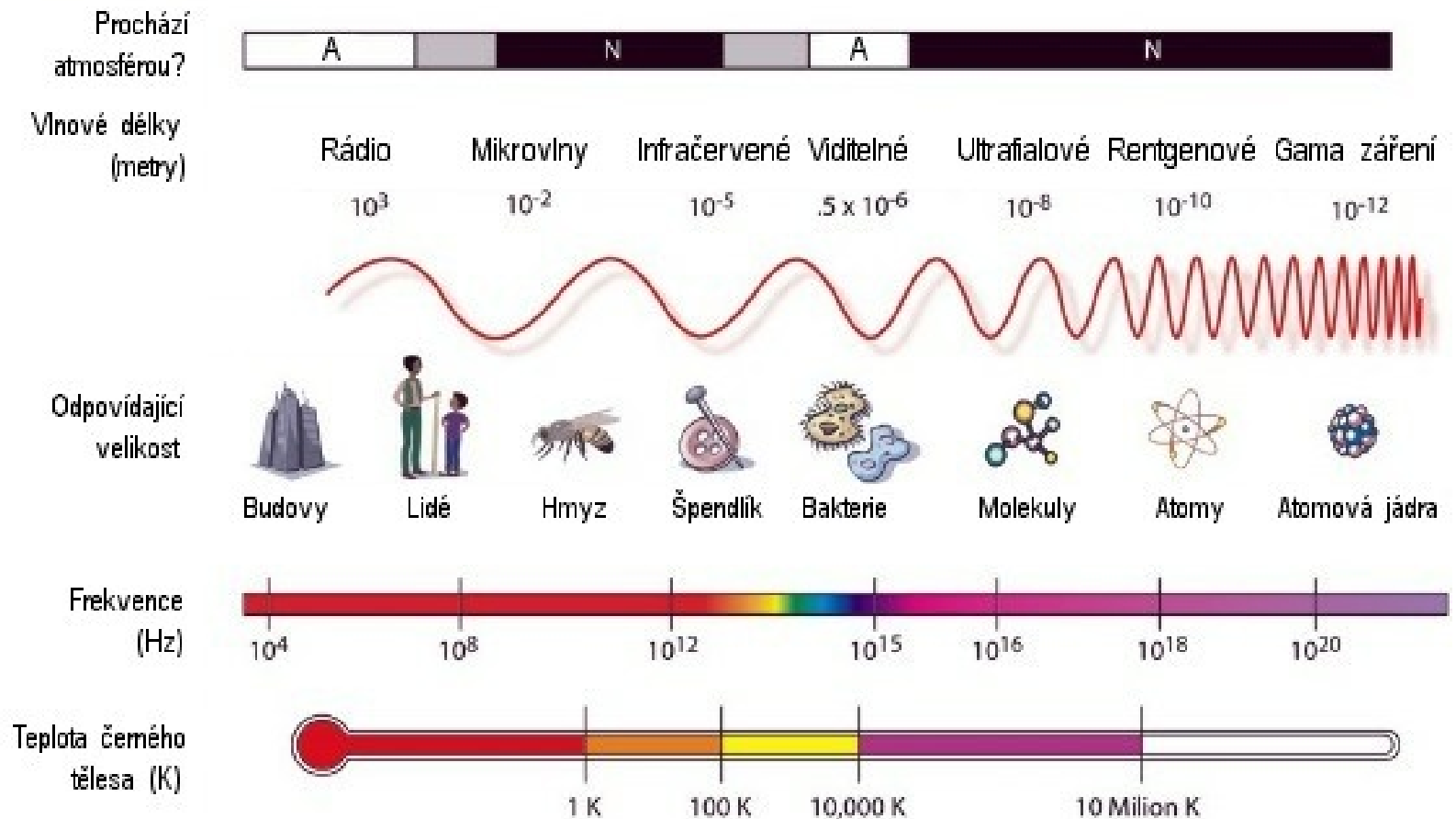
Světlo a jeho barva

Co je to „světlo“?

- Světlo je postupná vlna s elektrickou a magnetickou složkou.
- elektromagnetické vlnění = tok fotonů (energetických částic) ze zdroje
$$E = h\nu = mc^2$$
, kde
$$c = 2,997923 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$
 je rychlost světla ve vakuu (300 000 km/s),
$$h = 6,626069 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$
 je Planckova konstanta.
- Světelná energie se uvolňuje např. během:
 - ▶ tepelného chvění částic („záření černého tělesa“ - chromosféra slunce, žárovka...),
 - ▶ přechodu elementárních částic mezi různými energetickými stavy (skokové Δ energie => charakteristické emisní „čáry“ => vlnové délky **Luminiscence**)
 - ▶ Stimulovaná (Laser/Maser, LED, Fluorescence, fosforescence, chemoluminiscence...)
 - ▶ Spontánní (radioaktivita).
- Charakteristické vlastnosti EM záření:
 - ▶ **Spektrální složení** (histogram amplitud jednotlivých frekvencí) a
 - ▶ **Fáze a polarita vln** (interferenční a laserové technologie, holografie...).

Světlo a jeho barva

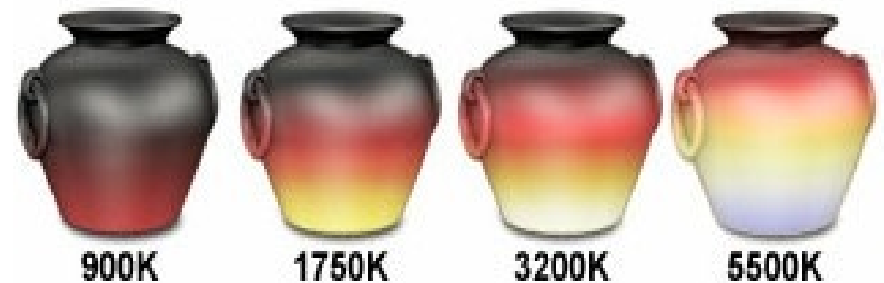
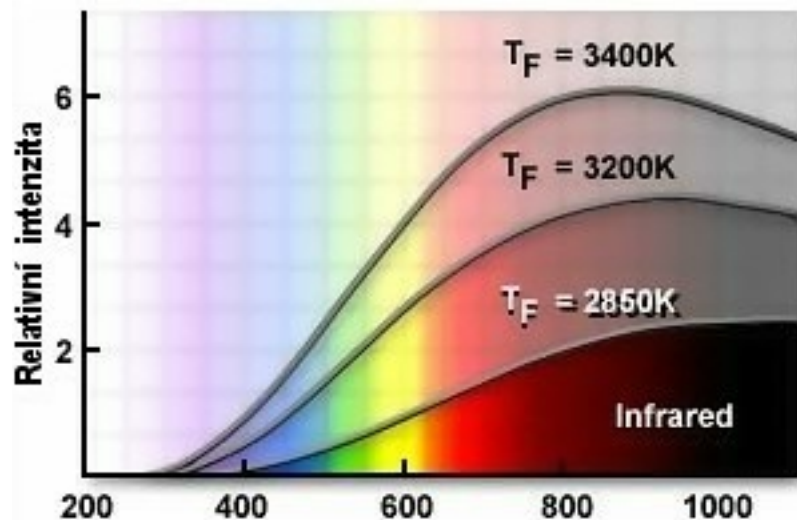
Viditelné světlo zabírá jen velmi malou část frekvenčního spektra EM záření:
400-760nm



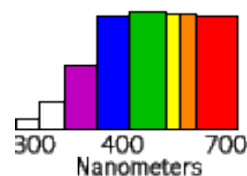
Světlo a jeho barva

Jaké spektrum odpovídá „**Bílé barvě**“?

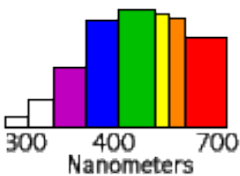
- Lidské oko a mozek při barevném vidění využívají schopnost adaptace na spektrum použitého světelného zdroje kompenzací barevné teploty.



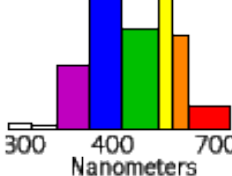
Natural Outdoor Light
(CRI 100; 5500 K)



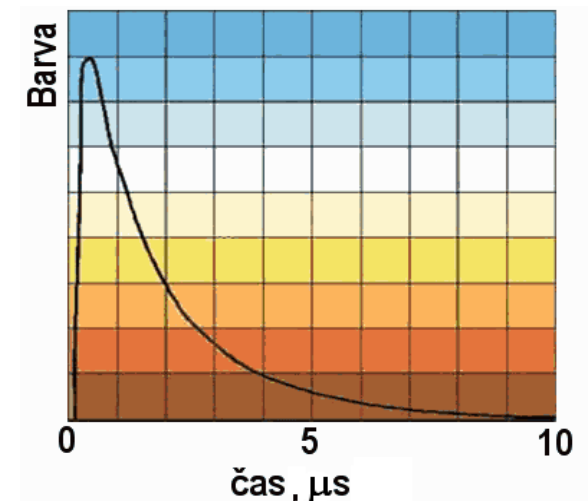
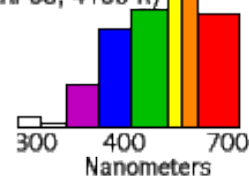
Excella Fluorescent
(CRI 91.1; 5765 K)



Daylight Fluorescent
(CRI 75; 6500 K)



Cool White Fluorescent
(CRI 68; 4100 K)



Světlo a jeho barva

Vnímání „barvy“ je důsledkem spektra zaznamenaného v místě pozorovatele. Toto spektrum je obecně dáno superpozicí:

- **emisního spektra** světelného zdroje (zdrojů),
- **spektrální odrazivosti** sledovaných povrchů,
- **spektrální propustností** všech prostředí kterými světlo prochází a
- spektrální přenosovou **charakteristikou** **použitého snímače**.



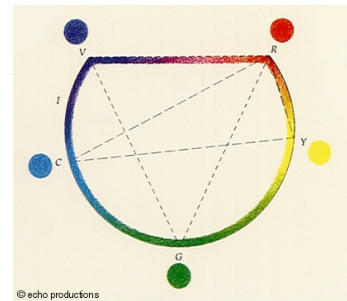
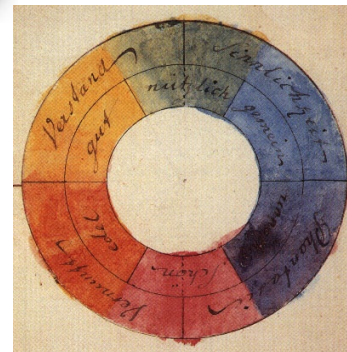
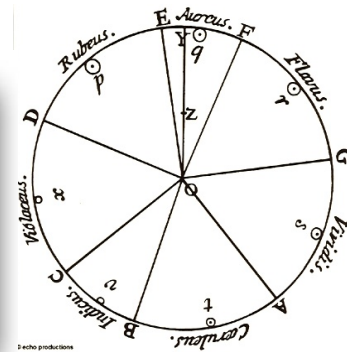
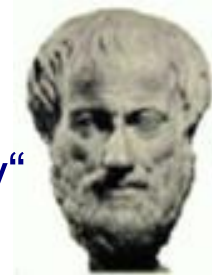
Poznámka:

- V relativistické fyzice a v astronomii je navíc nutné zohlednit případné dopplerovské jevy při vysokých vzájemných rychlostech zdrojů a pozorovatele (**červený/modrý posuv** Fraunhoferových absorbčních čar).

Lidské barevné vidění

Historie:

- **Aristoteles** (384-322): „řada barev“
- **Isaac Newton** (1642-1726):
 - ▶ Interpretace „Marciho experimentu“ (rozklad bílého světla hranolem),
 - ▶ kruh 7 základních barev (Opticks, 1704).
- **Johann Wolfgang Goethe** (1749-1832):
 - ▶ Oponentní model (Teorie barev, 1823)
 - ▶ žlutá (slunce) proti modré (tma) a červená proti zelené
- **Thomas Young a Hermann von Helmholtz:**
Trichromatická teorie:
Lidské oko vnímá obrazovou informaci na principu současného zpracování trojice lineárně nezávislých barevných stimulů (druhý Grassmanův zákon).

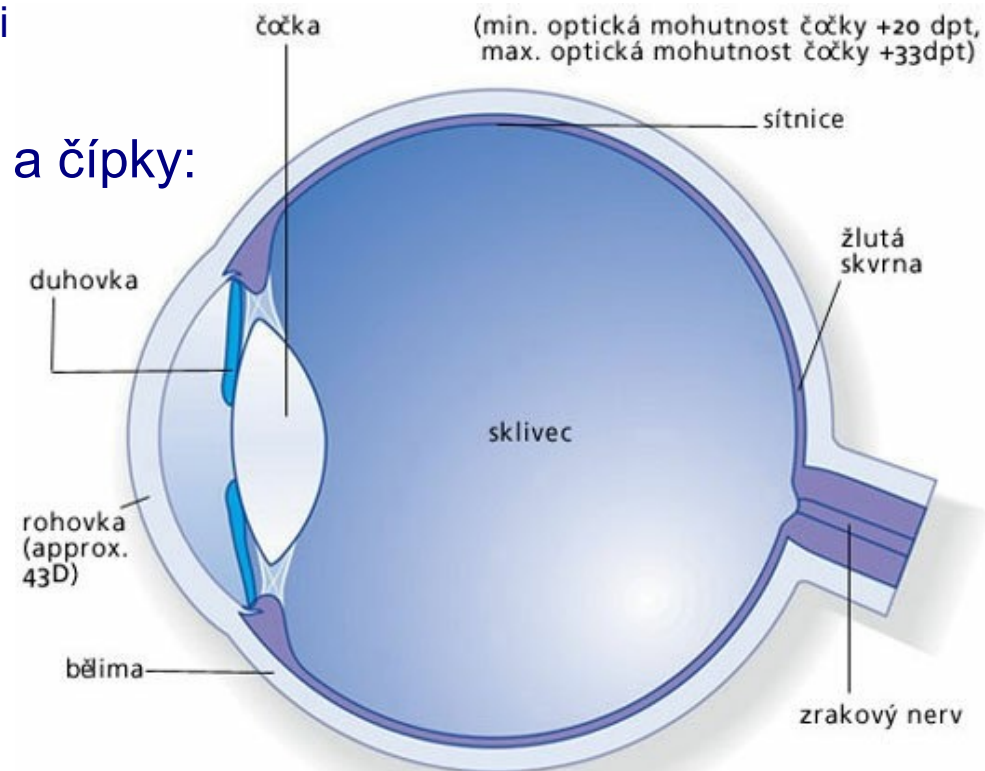
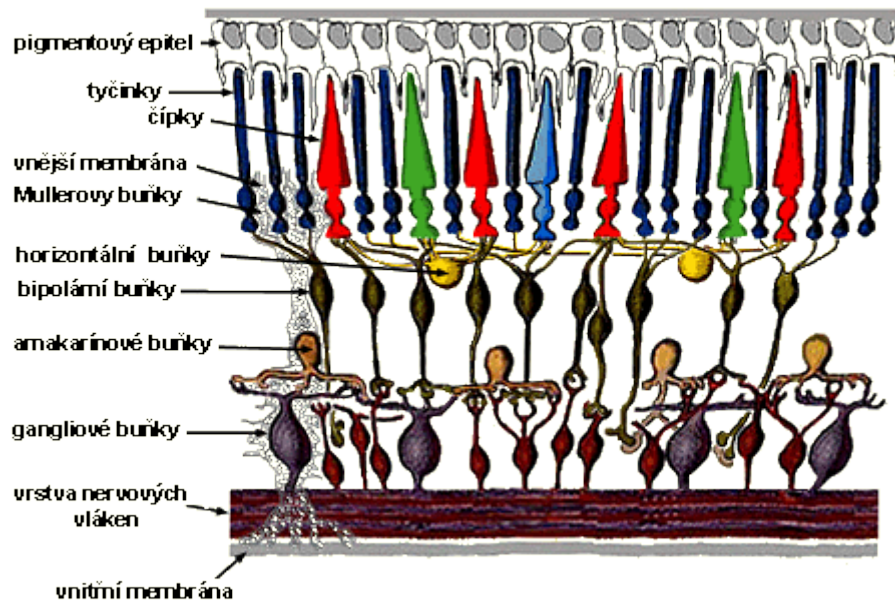


Lidské barevné vidění

- Optická soustava lidského oka je tvořena čtyřmi optickými prostředími: rohovkou, komorovou vodou, čočkou a sklivcem.

► Světlo vstupuje do rohovky, jeho množství je regulováno velikostí zornice v duhovce, je fokusováno čočkou a dopadá na sítnici na zadní straně oka.

- Sítnice obsahuje světlocitlivé tyčinky a čípky:



Lidské barevné vidění

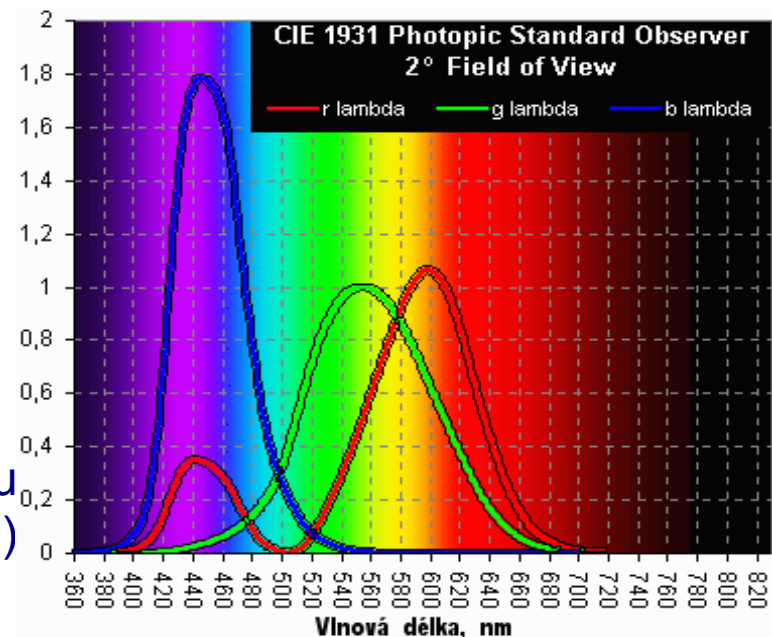
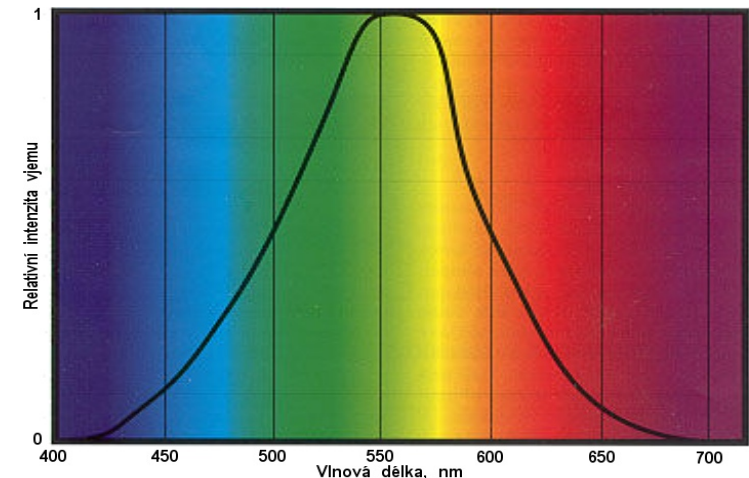
- **Tyčinky:**

- ▶ černobílé „noční“ vidění,
- ▶ maximum citlivosti kolem 520nm
(Purkyňův jev: za úsvitu vnímáme nejdřív modře)

- **Čípky:**

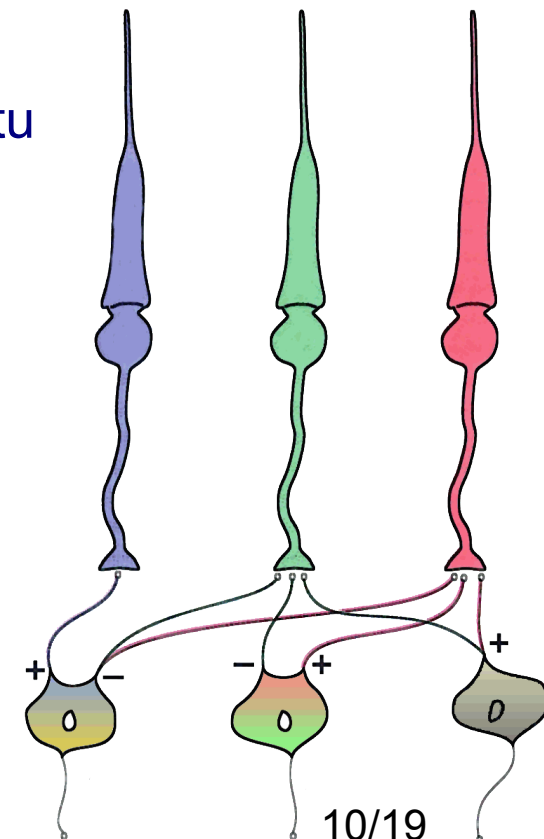
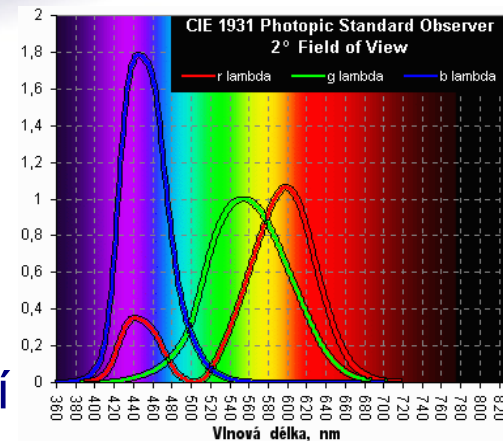
- ▶ barevné (fotopické) vidění na denním světle
- ▶ nej hustěji uspořádané v okolí žluté skvrny,
- ▶ intenzita světla je vnímána na základě fotochemických reakcí očního **Rhodopsinu** ve třech širokopásmových oblastech:

- ▶ ρ (**červený**), maximum v okolí **590 nm**,
- ▶ γ (**zelený**), maximum v okolí **540 nm** a
- ▶ β (**modrý**), maximum v okolí **430 nm**.
Tyto závislosti jsou spektrální, ne bodové, střed barevné citlivosti je v okolí 555 nm.
- ▶ Vjem v modrém kanálu ovlivňuje také tvorbu **Melatoninu** (biologické hodiny: spánek/den)



Lidské barevné vidění

- Barva je vnímaná okem je vizuálním vjemem, produkovaným specifickou spektrální odezvou čípků sítnice na energii dopadajícího světla:
 - ▶ Intenzitu tohoto vjemu je obecně možné vyjádřit trojicí relativních fotometrických stimulů R, G a B, odpovídajících plochám pod křivkami ρ , γ a β .
 - ▶ Hodnoty signálů z čípků jsou sloučeny dle schématu a zrakovým nervem elektrochemicky předávány k dalšímu zpracování do mozku.
 - ▶ díky této jednoduché fyziologické transformaci je člověk schopen rozlišovat **světlost** i **odstíny**.
 - ▶ způsob porovnávání odstínů „modré proti žluté“ a „červené proti zelené“ se nazývá **oponentní**
 - ▶ transformace tohoto schématu jsou základem referenčních **barevných systémů** CIE.

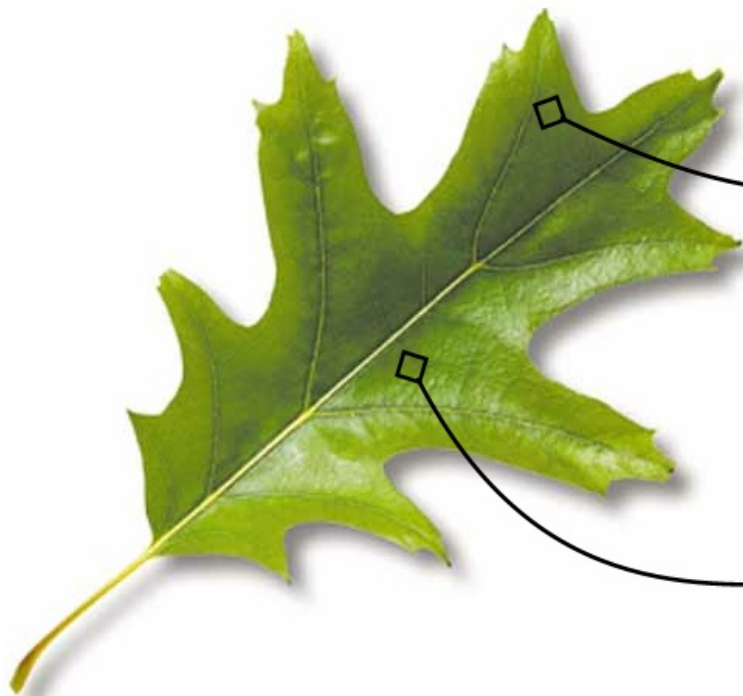


Lidské barevné vidění

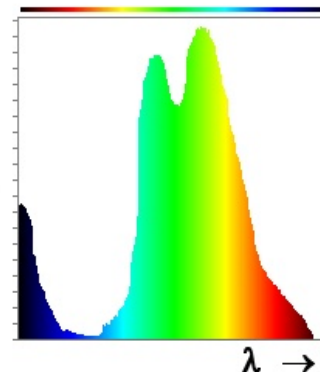
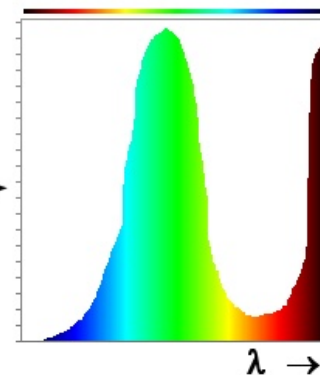
Trichromatické barevné vidění spojitého spektra je (kromě jiných vad) zatíženo také **Metamerismem**:

- To že vnímáme dvě barvy totožně ještě neznamená že jsou totožné:

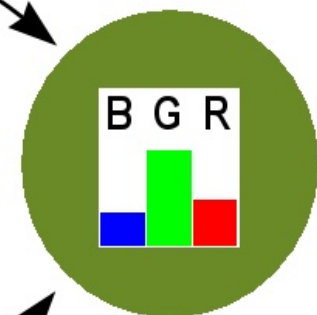
Přírodní objekt:



Bodová spektra:



Trichromatická
barva (RGB):

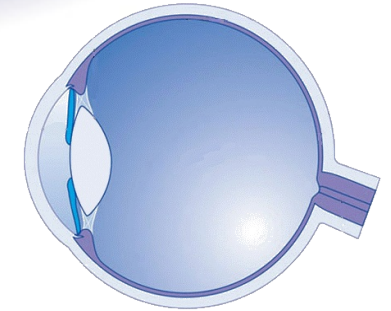


Barevné systémy

Dnešní kolorimetrický aparát vychází zejména z usnesení Mezinárodní komise pro osvětlení (Commission Internationale de l'Éclairage, **CIE**),

- zasedá od roku 1931.
- Mezi její nejvýznamější doporučení patří:
 - ▶ definice parametrů **standardního pozorovatele**,
 - ▶ **standardních iluminantů**,
 - ▶ **barevných prostorů** a
 - ▶ **barevné diferenční formule**.
- Na práci CIE navazuje od roku 1993 Mezinárodní konsorcium pro barvu (International Color Consortium, ICC) metodikou color managementu.

Barevné systémy

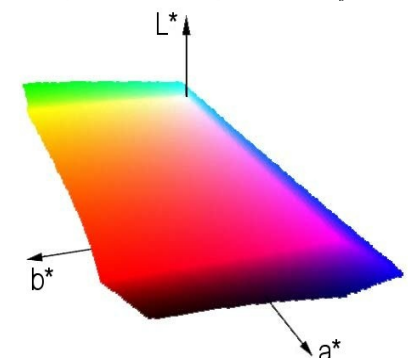
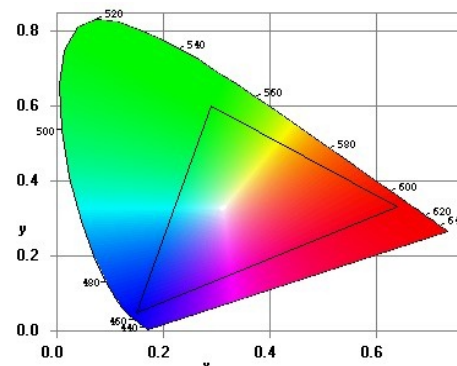
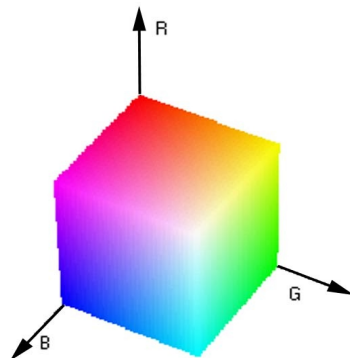


● Standardních iluminantů:

- ▶ A: Žhavené wolframové vlákno 2856 K (žárovka);
- ▶ B: Sluneční světlo o korelované barevné teplotě 4874 K (nepoužíváno);
- ▶ C: Ranní sluneční světlo o korelované barevné teplotě 6774 K (zastaralé);
- ▶ D: Hlavní série iluminantů odpovídajících různým typům denního světla:
 - D50 (5000K - denní světlo v interiéru) a
 - D65 (6504K - denní světlo v nulové nadmořské výšce);
- ▶ E: Teoretický iluminant o "shodné energii" (pouze pro výpočty);
- ▶ F: Série odpovídající různým fluorescenčním lampám (F2, F3 až F12).

● Standardní barevné prostory:

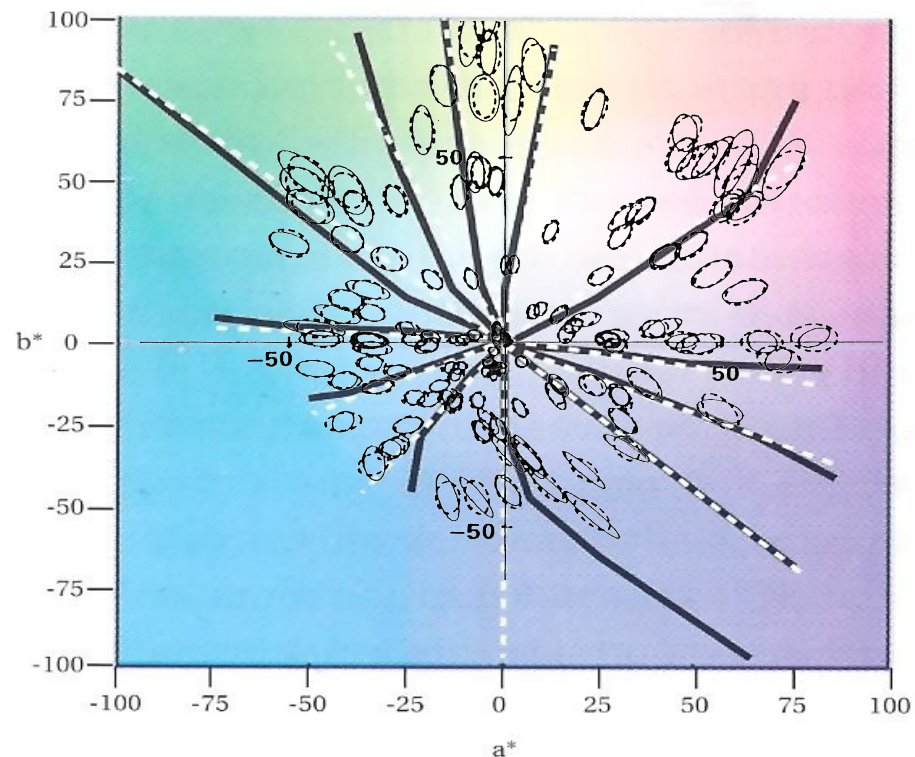
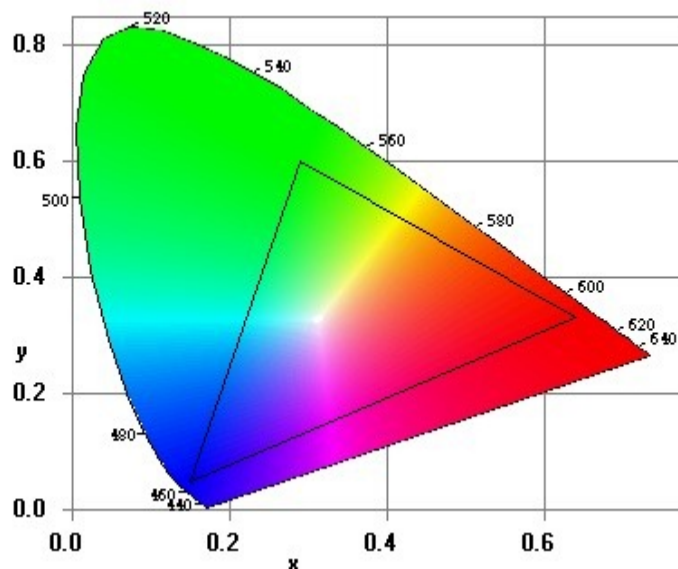
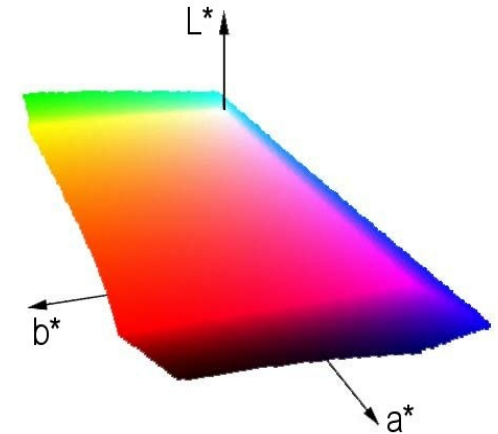
- ▶ CIE XYZ (transformace RGB, diagram chromatičnosti),
- ▶ CIELAB / CIELUV / CIELCH (psychometrický prostor)



Barevné systémy

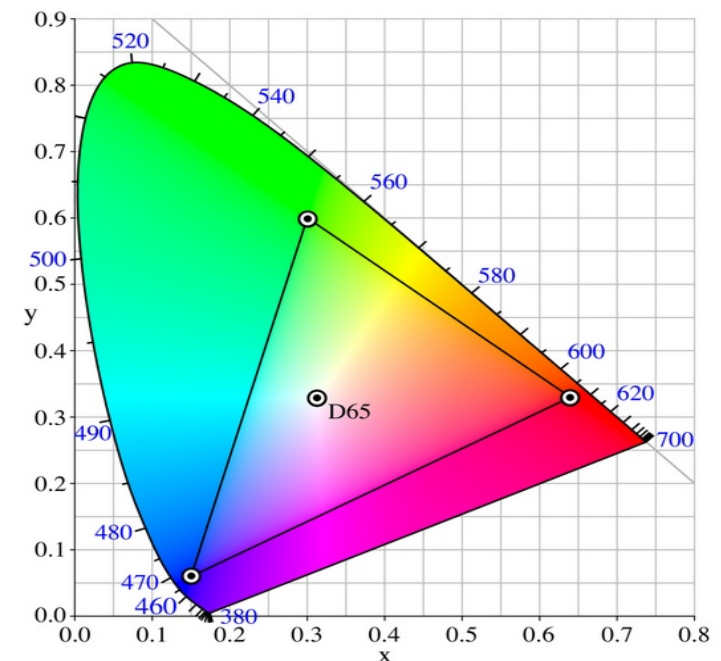
Míru rozdílnosti barev (ΔE) je možné vyčíslit pomocí barevných diferenčních formulí ΔE :

- CIE1976 (prostá vzdálenost v prostoru $L^*a^*b^*$),
- CIE94,
- CMC($l:c$),
- BFD($l:c$),...



Color Management

- Rozsah použitelných barev (**Gamut**) trichromatického zařízení je dán polohou vrcholů barevného n-úhelníku v barevném prostoru.
 - ▶ Aditivní míchání („svítící“ RGB na černém pozadí),
 - ▶ Substraktivní (odečítání CMY od barvy bílého podkladu).
- Gamuty reálných zařízení se prakticky vždy liší a vznikají tak kombinace, které jsou nereprodukovatelné (Skener > Monitor > Tisk).
- Výsledná barva je dále ovlivňována:
 - ▶ metamerismem,
 - ▶ barevnou teplotou okolí,
 - u substraktivních podkladů také barvou podkladu (papíru),
 - ...
- Pro korektní reprodukci při přenášení a při práci s barevnou grafikou je tedy nutný nějaký **system řízení barev** (Color Management System, CMS).



Color Management

- Dříve se k seřizování zařízení používalo bodové seřizování s pomocí **barevných vzorníků**

- ▶ Munsell / GretagMacbeth (systém HSV)
- ▶ Pantone
- ▶ Kodak

...

- ▶ Tištěné vzorníky a bodové kolorimetry se ke bodovým kontrolám barev používají dodnes.



- Základem dnešních CMS je referenční barevný systém **CIELAB**, ke kterému se vztahují specifikace profilů jednotlivých zařízení.
 - ▶ Každému zařízení v CMS je definován jeho **barevný profil**, popisující transformaci barev zařízením a fyzické limity zobrazitelných barev (gamut).
 - ▶ Profily se pak vztahují buď k typickým okolním podmínkám, ve kterých je zařízení provozováno (osvětlení, typ papíru, ... typicky hodnoty standardního pozorovatele).
 - ▶ Zařízení tak mohou pracovat v nativním RGB/CMY(K) režimu, převody řeší CMS.

Color Management

Kalibrace a profilace zařízení:

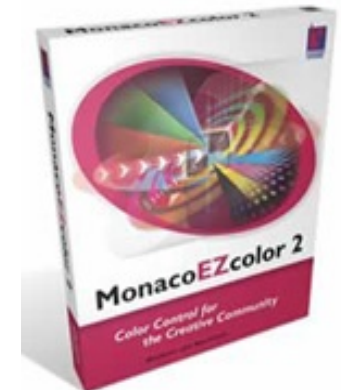
- Snímače a skenery:
 - ▶ testovací tabulky a terče
- Zobrazovací jednotky:
 - ▶ bodové kolorimetry a
 - ▶ spektrometry
- Tiskárny:
 - ▶ souřadnicové nebo ruční spektrometry,
 - ▶ souřadnicové nebo ruční kolorimetry, nebo
 - ▶ zkalibrované skenery.



Vytvoření vlastního profilu zařízení pak řeší příslušný software:

- GretagMacbeth
- Monaco Optics (MonacoEZcolor)
- Pantone

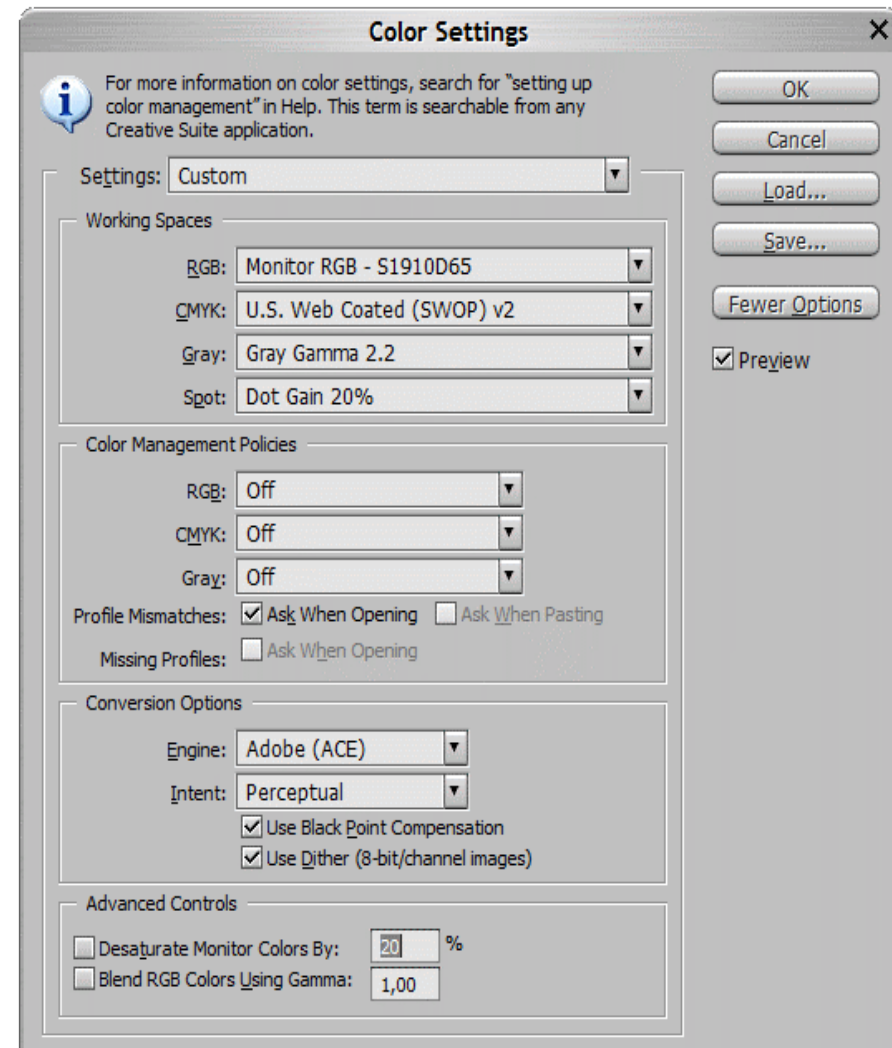
Základní ICC profily některých zařízení dodává už jejich výrobce.



Color Management

Transformace gamutu CMS zahrnují:

- výběr profilu u jednotlivých zařízení (skener, monitor, tiskárna),
- určení korekcí u bodových barev a
- výběr kolorimetrického záměru pro danou transformaci:
 - ▶ **Perceptuální:**
poměrné rozložení barev zdroje do cílového gamutu. Zachovává barevné poměry, někdy za cenu sníženého kontrastu.
 - ▶ **Saturační:**
Roztažení původního gamutu po hranice nového, i za cenu příp. přetečení a ořezu. Typické pro grafy a „obchodní grafiku“.
 - ▶ **Absolutní kolorimetrický:**
Simulace barev původního obrazu.
 - ▶ **Relativní kolorimetrický:**
Simulace původních barev, s kompenzací bílého bodu na cílovém zařízení.



Závěr

Probrané kapitoly

- světlo a jeho barva,
- lidské barevné vidění,
- barevné systémy a
- řízení barev

představují jen stručný úvod do oborů fotometrie, kolorimetrie a řízení barev.

- Na látku navazují kapitoly Záznam obrazu, Zobrazovací jednotky a Tisk.
- Tam kde si s uhlídáním barev nebudete vědět rady, raději než hádku hledejte radu od zkušenějších. Uvedené obory jsou v neustálém vývoji a uvedená doporučení se během pár let mohou změnit.
- **Doporučená literatura:** Fraser, Murphy, Bunting: *Real World Color Management*.

Námět cvičení:

- Diskuse vlivu barevné teploty okolí na vnímání barev
- Demo profilace zařízení v rámci CMS

