

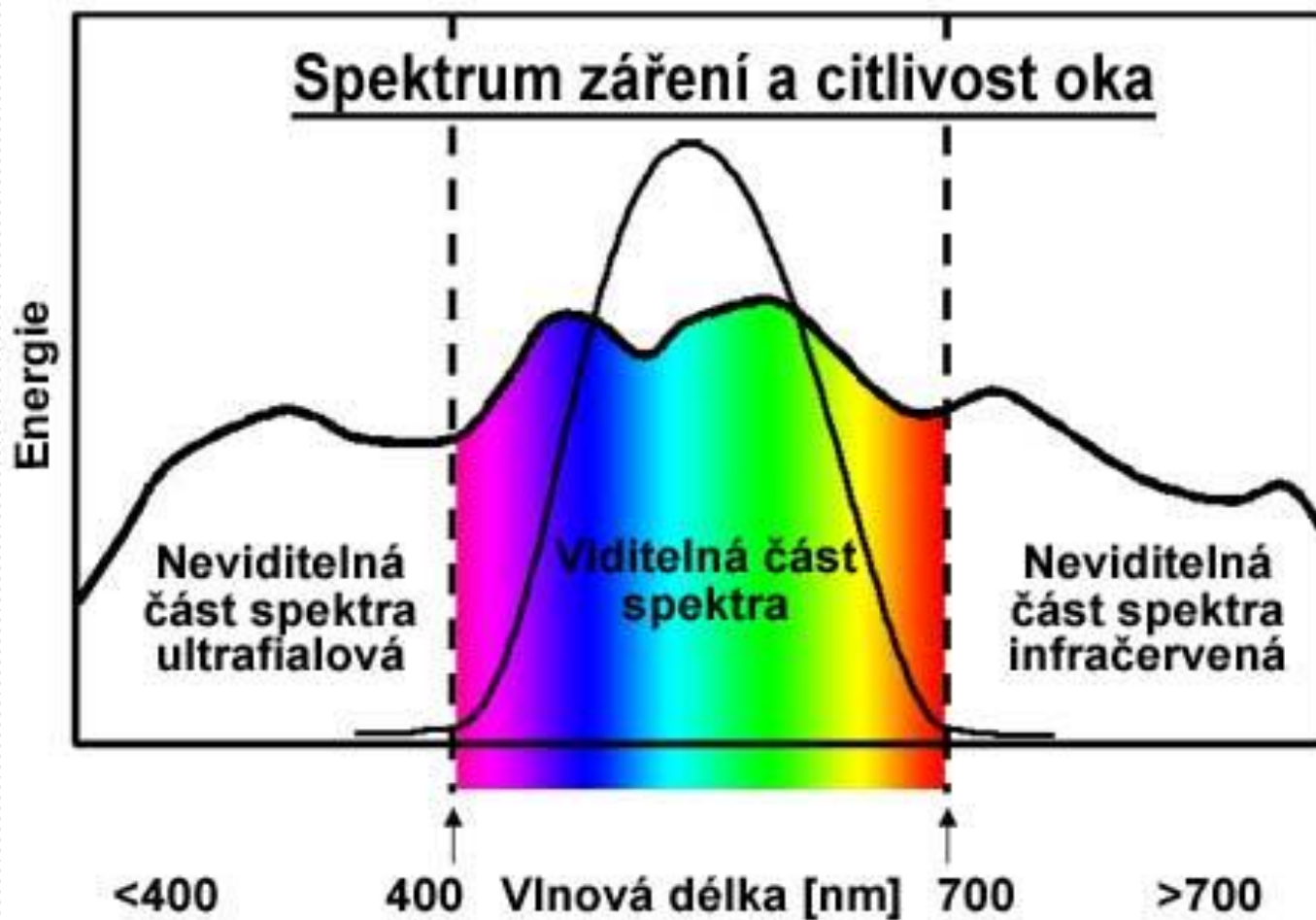


Barvy



Vítězslav Otruba

Elektromagnetické záření



Achromatické světlo

- **„Bílé světlo“** : signál složený ze záření všech vlnových délek viditelného spektra
- Difúzní odraz dopadajícího světla na povrchu těles:
 - odraz > 80 %** - bílé předměty
 - odraz < 3%** - černé předměty
- Kolik úrovní šedé barvy rozlišíme ?
Stačí 32-64
- Lidský vizuální systém je schopen adaptace na různé úrovně intenzity. Dolní a horní mez vnímání intenzity se liší **násobkem 10^{10}** ! Současně vnímáme několik desítek úrovní intenzity v určitém místě, při změně pohledu se podle úrovně intenzity na sledovaném povrchu vizuální systém přizpůsobí.

Lambert-Beerův zákon

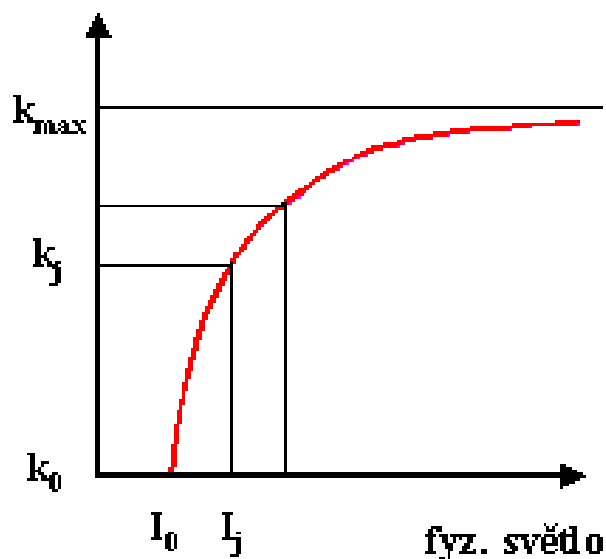
Rovnoměrný přírůstek jasu fyzikálního světla vnímá člověk subjektivně jako logaritmický přírůstek intenzity vnímaného světla.

I_0 - nejmenší vnímaná intenzita

$I_1 = r I_0$; $I_2 = r I_1$

$I_k = r I_{k-1} = r^k I_0$

vjem achrom.světla



$$r = \left(\frac{1}{I_0} \right)^{1/k_{max}}$$

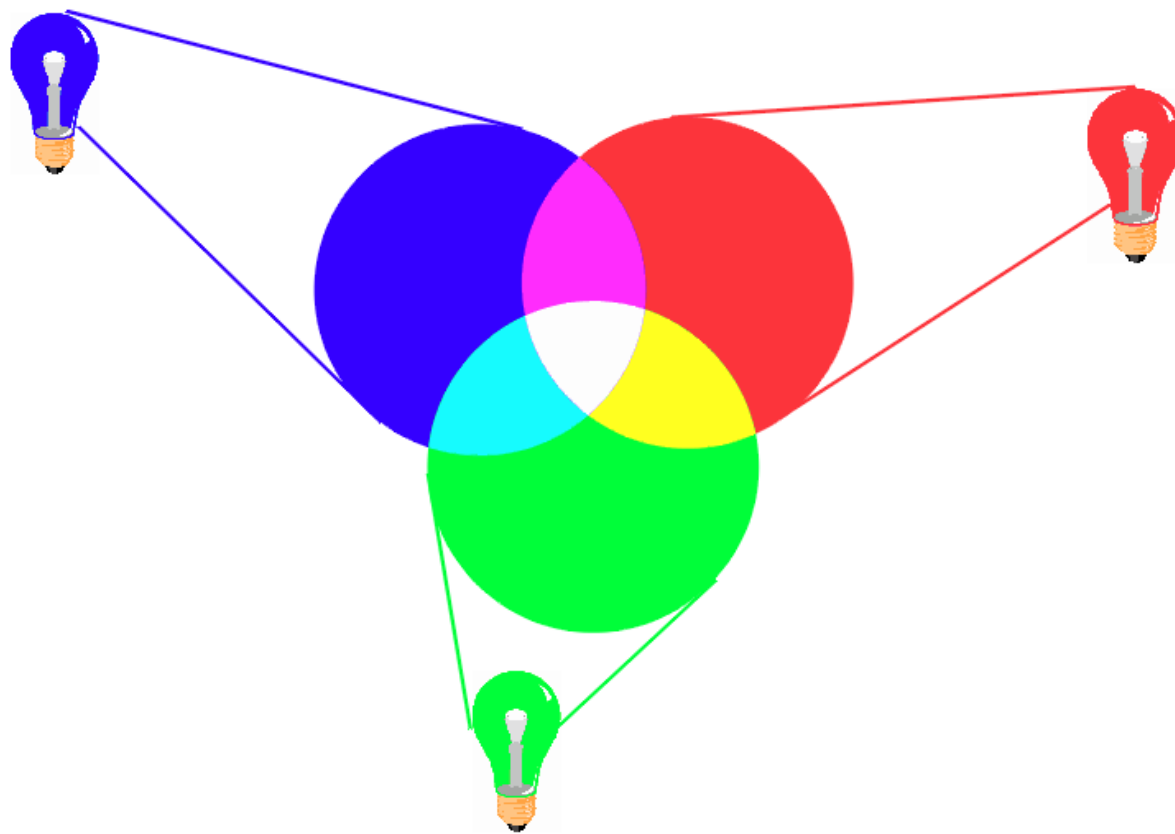
$$I_j = I_0^{(k_{max} - j)/k_{max}} ; 0 \leq j \leq k_{max}$$

linearizace: „Gamma korekce“
(televize, monitory, software ...)

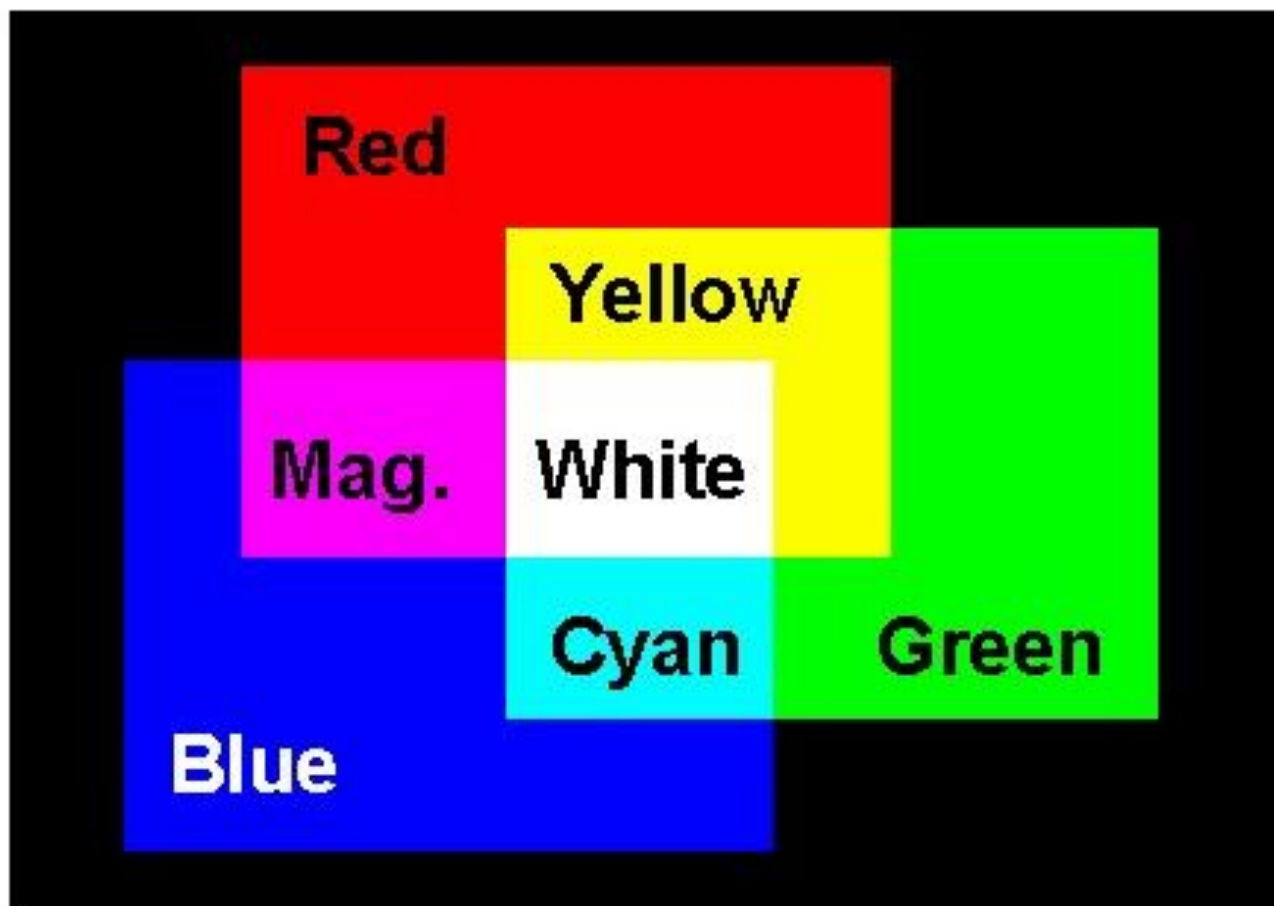
Barevný vjem

- Grassmanovy zákony (1854) - lidské oko vnímá:
 - **dominantní vlnovou délku** (odstín, "hue")
 - **čistotu barvy** (sytost, "saturation")
 - **intenzitu** (jas, "brightness")

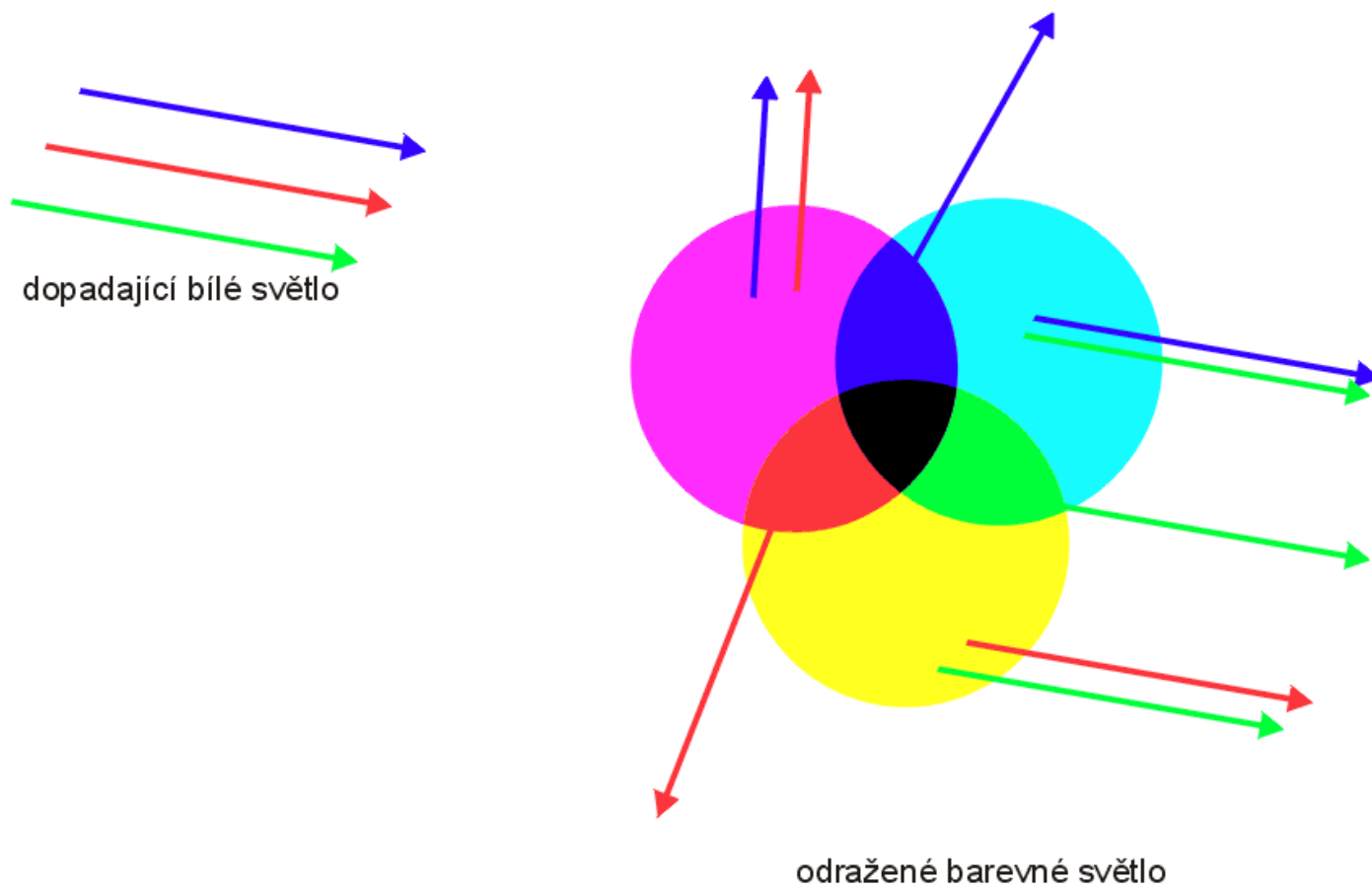
Skládání světél



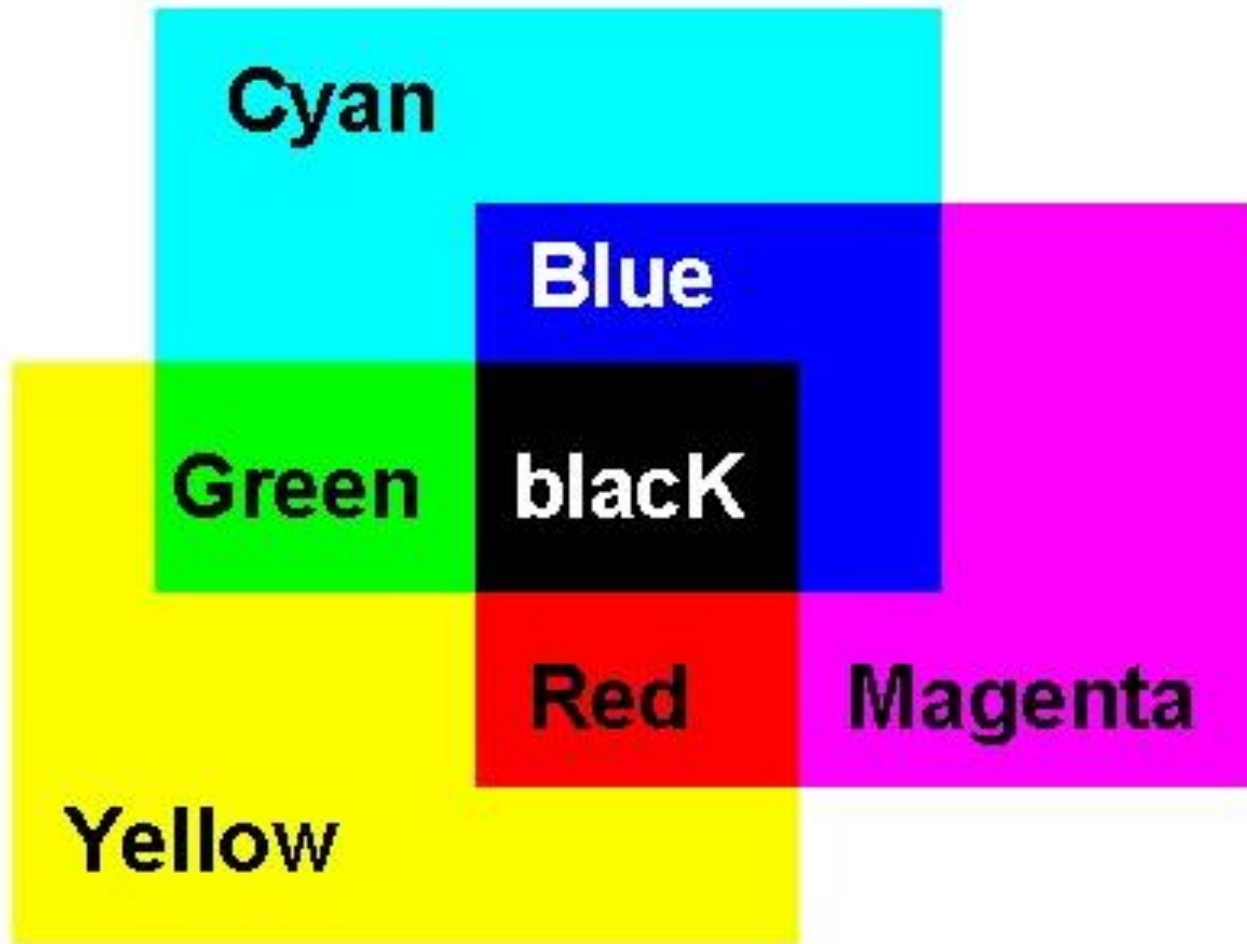
Aditivní skládání barev (RGB)



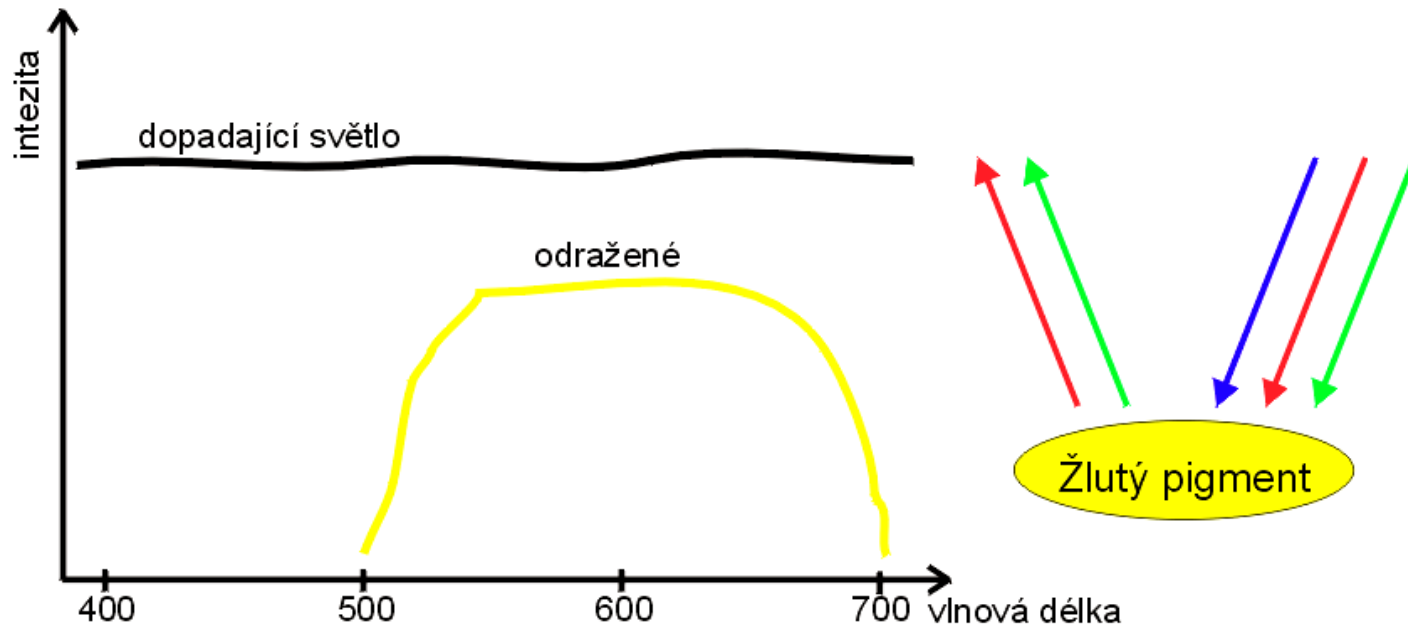
Skládání barviv



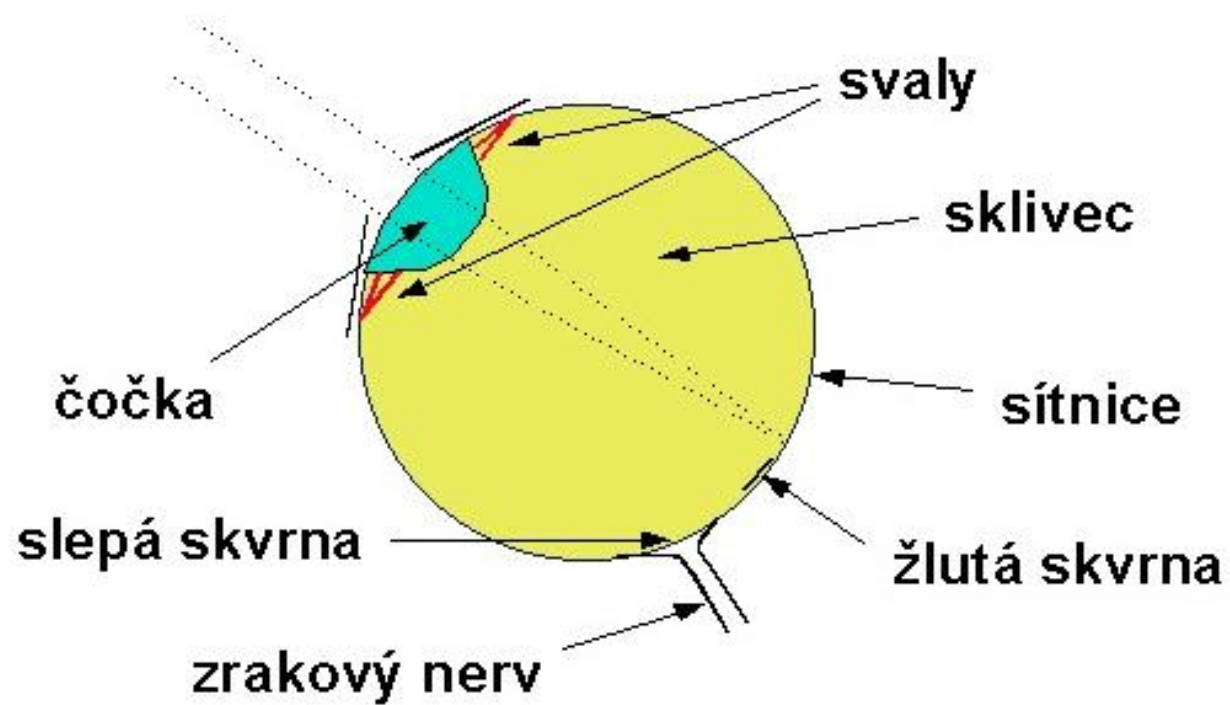
Subtraktivní skládání barev (CMY)



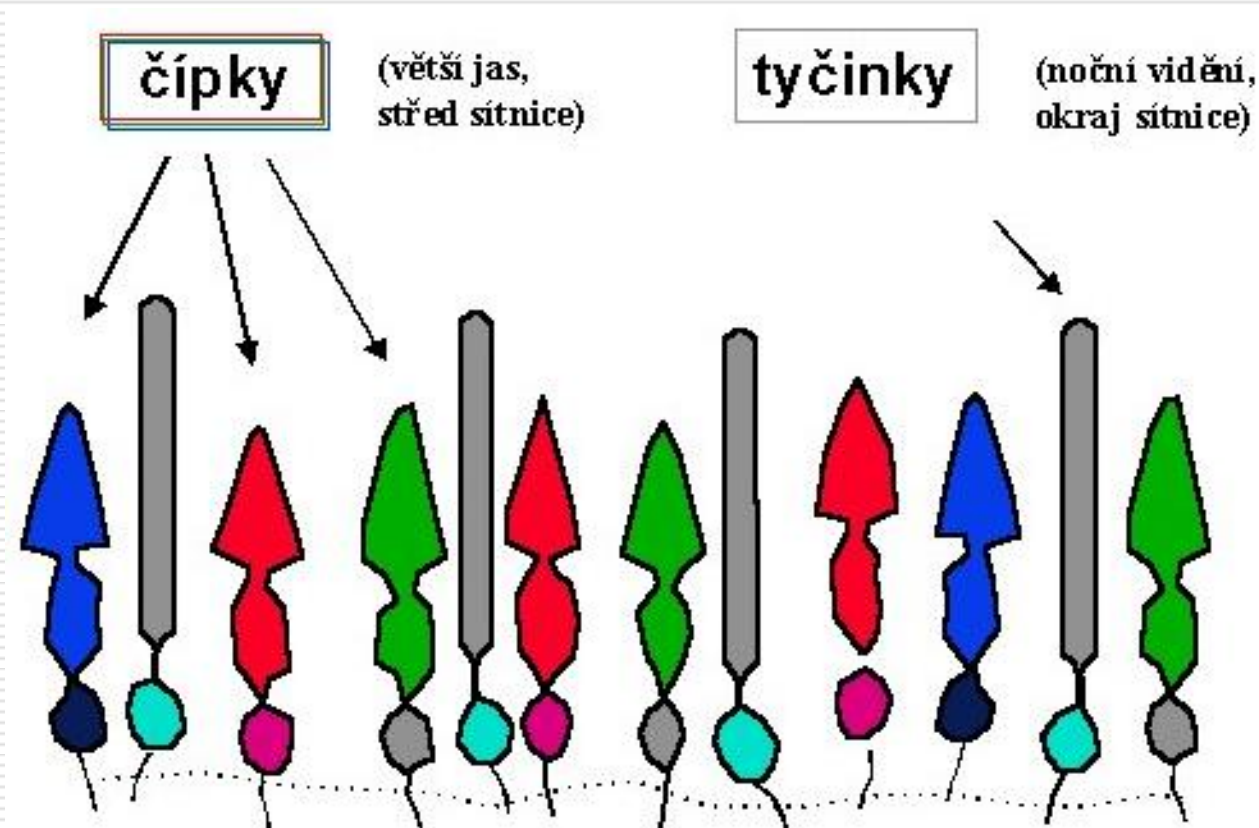
Žlutý barevný pigment



Lidské oko

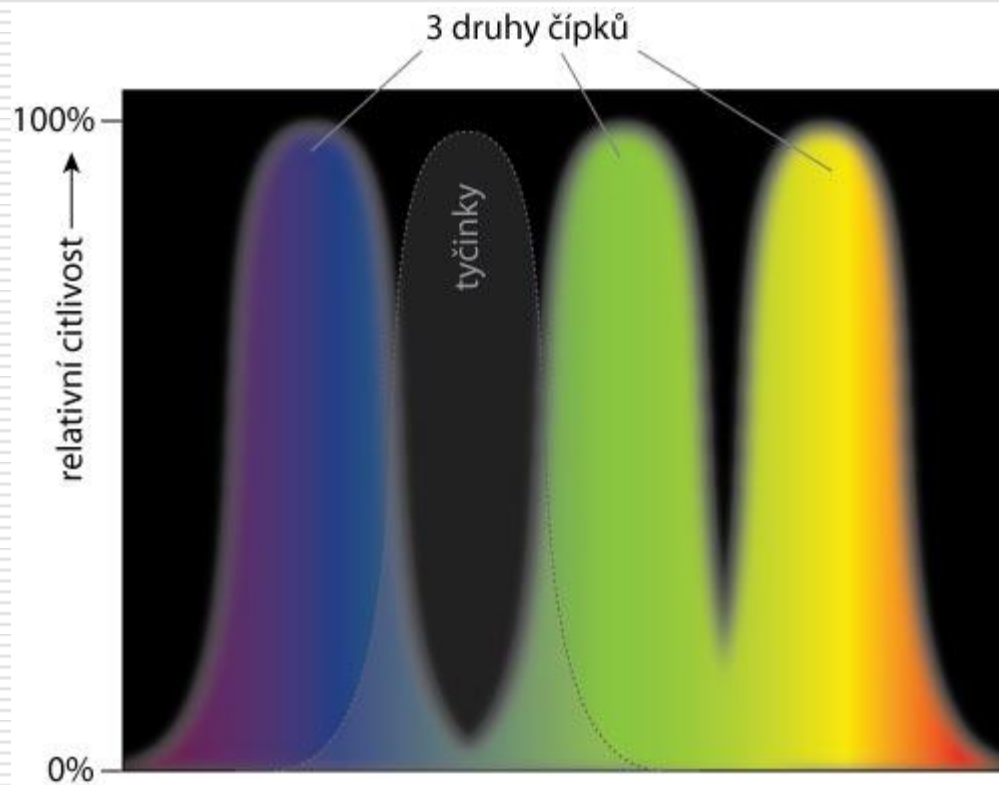


Sítnice lidského oka



Sítnice obsahuje asi 7 milionů čípků a 120 milionů tyčinek

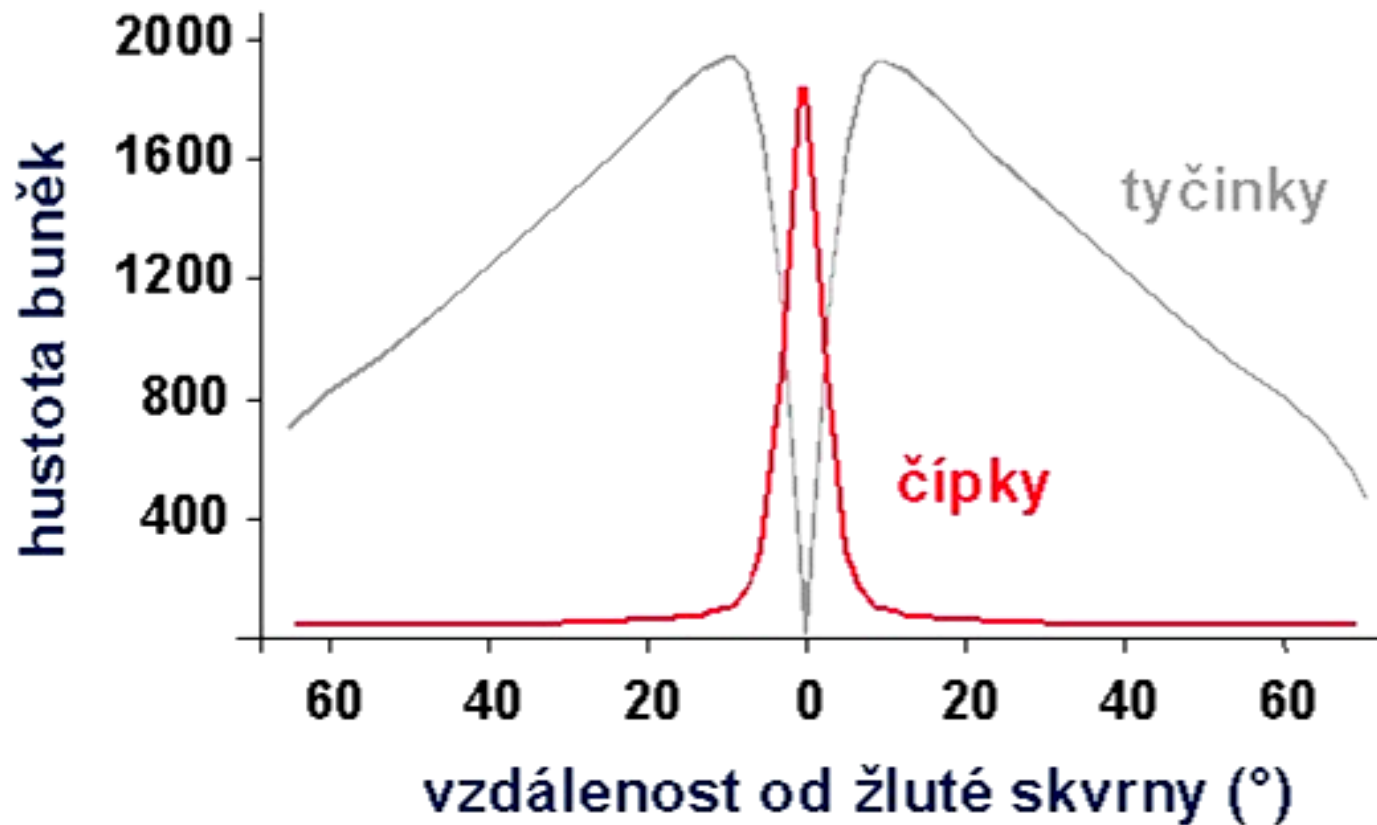
Citlivost k barvám



Barevný vjem

- **Vnímání jasu a barev** Díky sondování celého spektra "jen" třemi druhy čípků se snadno může stát, že dvě nebo i více různých složených spekter je vyhodnoceno okem a mozkiem stejně a to i přesto, že se jedná o dvě zcela rozdílná spektra. Potom se jeví tato rozdílná spektra jako stejná barva a jsou tedy okem nerozlišitelné.
- **Vidění versus fotoaparát** I dnešní nejdokonalejší fotoaparáty se bohužel schopností oka a zejména mozku jen přibližují. Schopnosti, které má zdravý člověk (dynamický rozsah vidění, schopnost vyvážení bílé, gamut, ostření, noční vidění atd.), jsou zatím technikou naplněny jen zčásti.

Rozložení fotoreceptorů

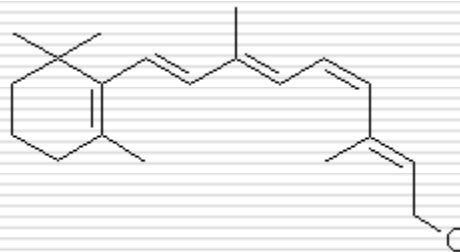


Vlastnosti zraku

- různá citlivost na **červenou** (0.3), **zelenou** (0.6) a **modrou** (0.1) barvu – navíc střed žluté skvrny téměř neobsahuje “modré” čípky
- zaostřuje se **podle jasové složky** ($Y = R+G$) – nelze dobře zaostřit na rozdíly v modré složce
- **integrační schopnost** sítnice – vnímáme samostatné tečky a zároveň jejich hustotu

Vizuální přenos

- Zahrnuje 3 procesy : fotochemický, biochemický a elektrický
- Fotoreceptorové buňky oka jsou tyčinky a čípky. Každý typ má zploštělé disky, které obsahují fotoreceptorový pigment. Tento pigment je rhodopsin v tyčinkách a **červený**, **zelený** a **modrý** pigment v čípcích.
Rhodopsin je transmembránový protein s prostetickou skupinou 11-cis-retinal.
Rhodopsin bez 11-cis-retinalu = opsin.



11-cis-retinal

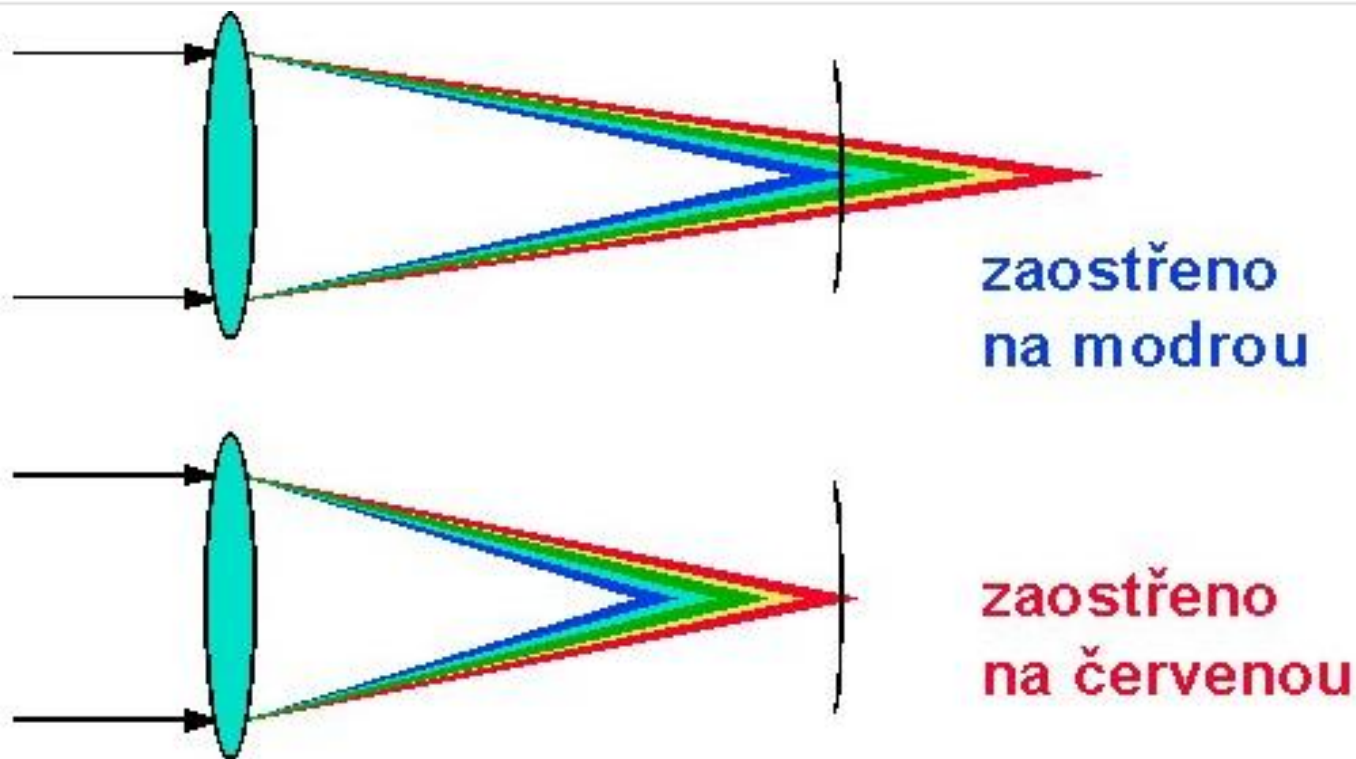
Vizuální přenos

- Podstata biochemického procesu je, že pronikající foton způsobí izomerizaci 11-cis formy retinalu na all-trans formu retinalu. Tato izomerizace způsobí konformační změny proteinu (rhodopsinu u tyčinek, červeného, zeleného a modrého pigmentu u čípků) a tím ovlivní klidový membránový potenciál buňky. Výsledkem je elektrický signál přenášený pomocí optických nervů do mozku.
11-cis-retinal je odvozen od vitamínu A. Rozštěpením β -karotenu získáme 2 molekuly all-trans-retinolu. V pigmentové epiteliální vrstvě sítnice je enzym, který katalyzuje izomerizaci all-trans-retinolu na 11-cis retinol. Oxidace 11-cis-retinolu na 11-cis-retinal a jeho vazba na opsin probíhá ve vnějším segmentu.

Vlastnosti systému vidění

- **větší rozlišovací schopnost** ve svislém a vodorovném směru – v šikmých směrech asi o 30% menší
- **přeostrůvání** na barvy vzdálené ve spektru
- **setrvačnost** (“afterimage”) – laterální inhibice nervových buněk
- **očekávání** (“expectation”) – psychofyzilogická vlastnost

Barevná aberace oka

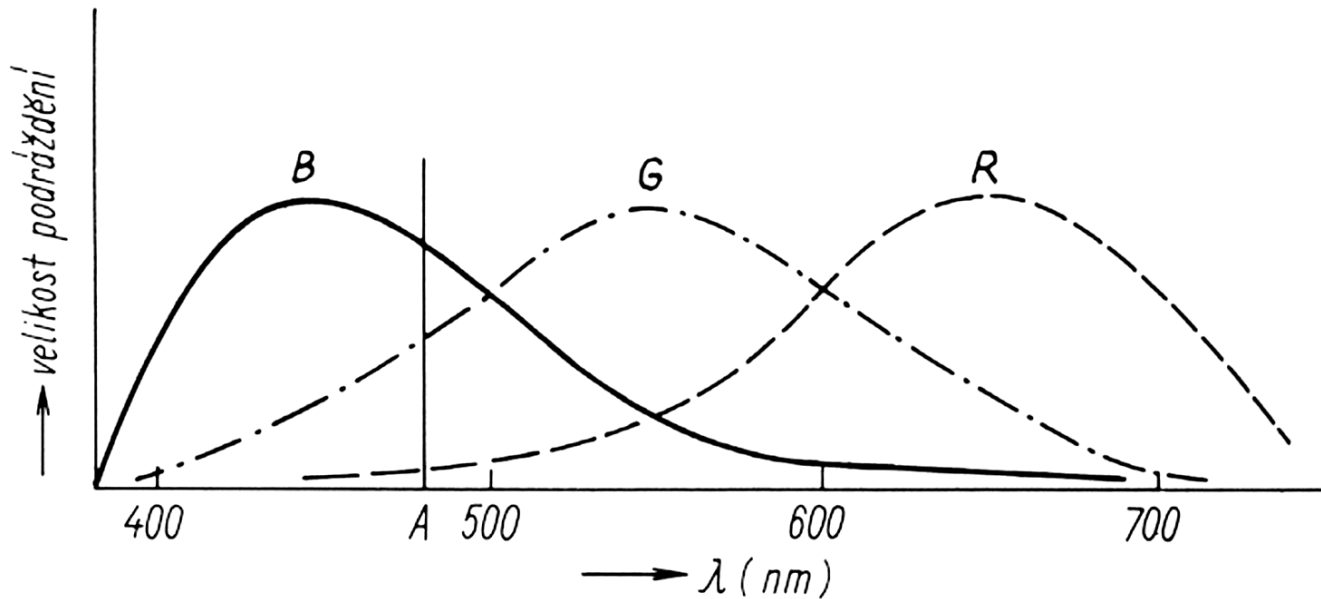


Lidské oko se chová jako normální čočka, tj. nemá barevnou korekci.

Doporučení

- ➔ **používat barvy strážlivě**
 - maximálně 4-6 různých barev, odstínů může být víc
- ➔ **nekreslit malé objekty a tenké čáry modře**
 - málo “modrého” pigmentu ve středu žluté skvrny
- ➔ **na pozadí nepoužívat červenou a zelenou**
 - modrá i žlutá vyhovují
- ➔ **nekreslit vedle sebe syté barvy vzdálené ve spektru**
- ➔ **používat barvy logicky a konzistentně**

Vnímání barev



Citlivost předpokládaných tří druhů čípků – na vlnovou délku A reaguje každý detektor jinou velikostí podráždění – barevný vjem může být charakterizován mimo vlnové délky záření i relativní velikostí podráždění receptorů. Obojí způsob je podle potřeby používán.

Monochromatické světlo

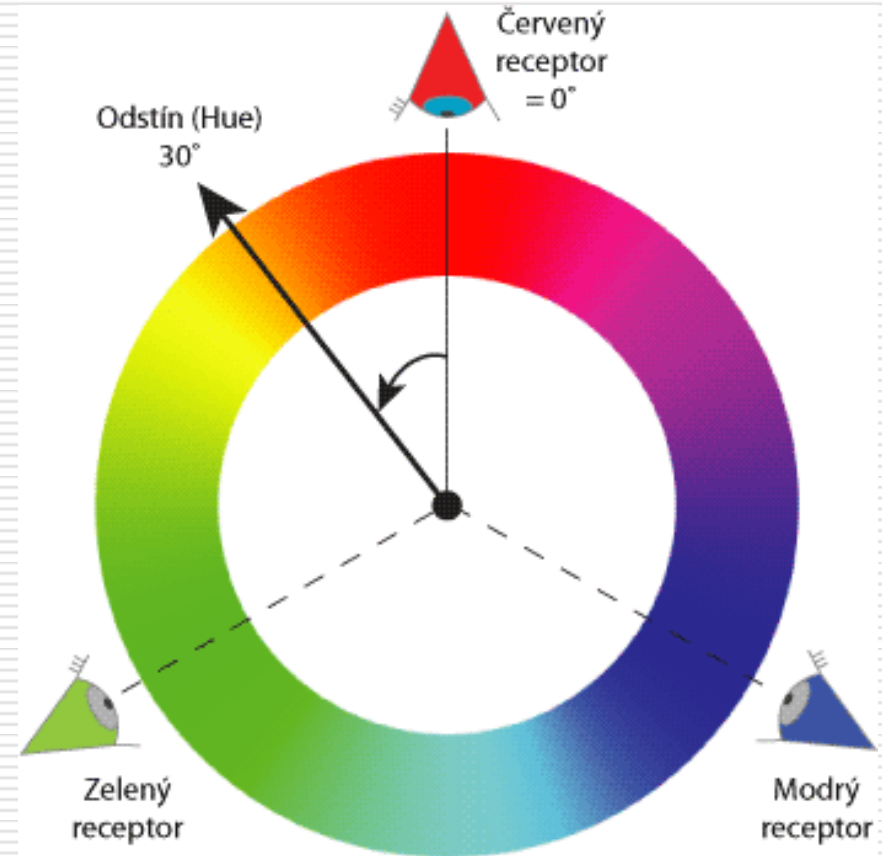
- Čípky dovedou rozlišit pásma o šířce cca 2 nm, cca 150 barevných tónů (monochromatických světel) – **barevných tónů sytých**
- Směs všech monochromatických světel je světlo **bílé**

Barevný tón, sytost

- Dvě nebo více monochromatických světel tvoří **směs**, jejíž **barevný tón** je shodný s tónem určitého monochromatického světla, ale **sytost** směsi je vždy menší.
- Směs několika monochromatických světel je **světlo složené**. Světlo složené a světlo monochromatické, která se jeví ve stejném barevném tónu, se označují jako světla **podmíněně podobná (metamerní)**.

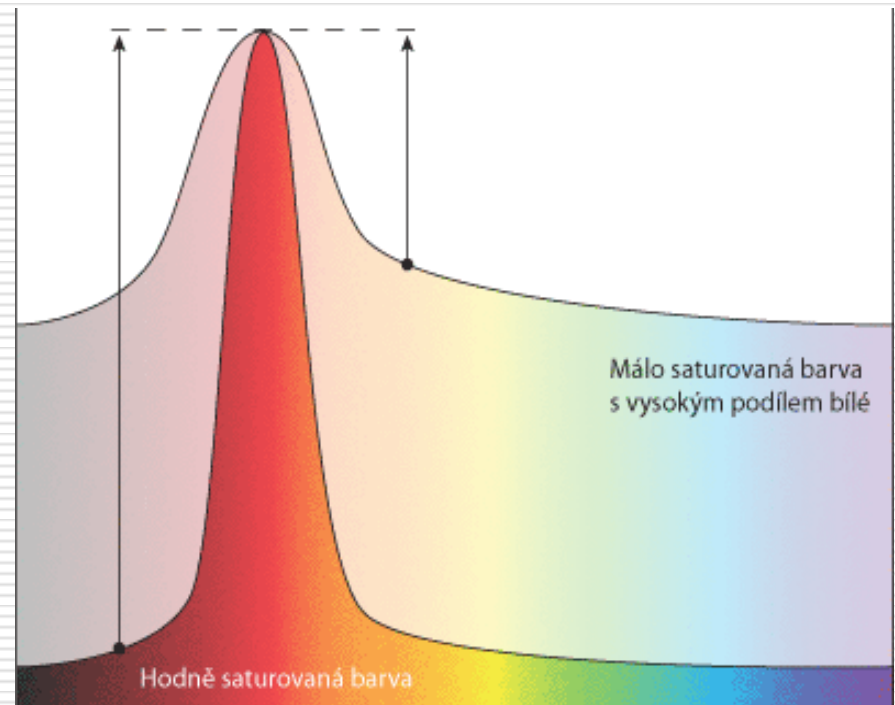
Odstín barvy (hue)

Díky reprezentaci barev pomocí kola je možné odstín barvy (Hue) vyjádřit jako úhel ve stupních od 0 do 360. Odstínem barvy (Hue) se přitom myslí barva ve své čisté podobě, tedy nezatížená tím, jak je světlá či tmavá, či jak velké množství bílé má v sobě přimícháno. Odstín je tedy to, co má většinou běžná jména, jako "červená", "modrá", "žlutá" atd. Současné RGB modely přiřadily úhlu 0° barvu červenou, úhlu 120° barvu zelenou a úhlu 240° barvu modrou.



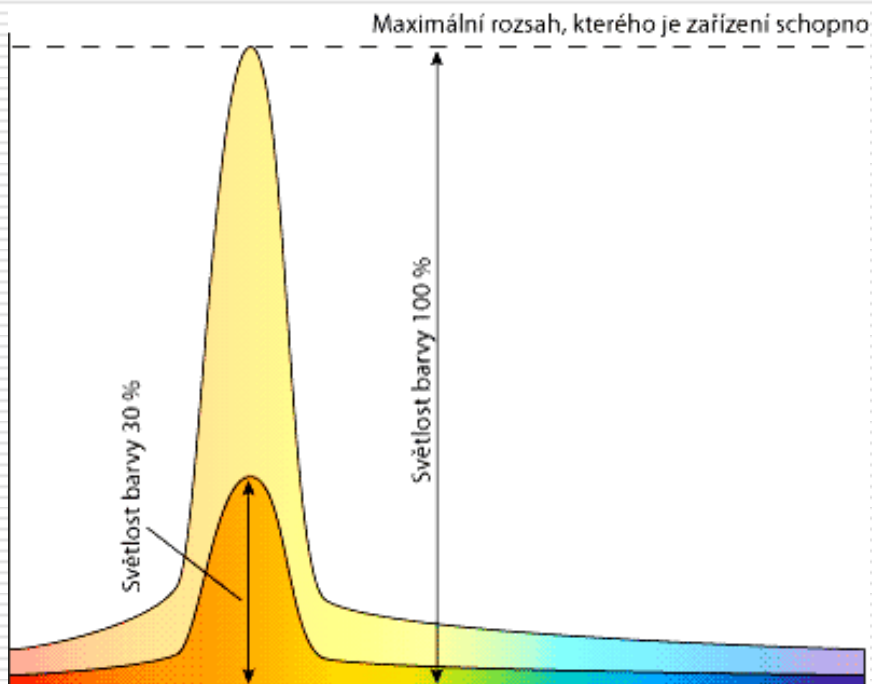
Sytost barva (saturation)

- Sytost barvy, neboli její čistota jednoduše znamená, jak moc se barva odlišuje od šedé. Přitom nezáleží na tom, jak moc světlá či tmavá šedá to je, ale pouze na tom, jak moc se od "nějaké šedé" barva odlišuje.



Světlost barvy (lightness)

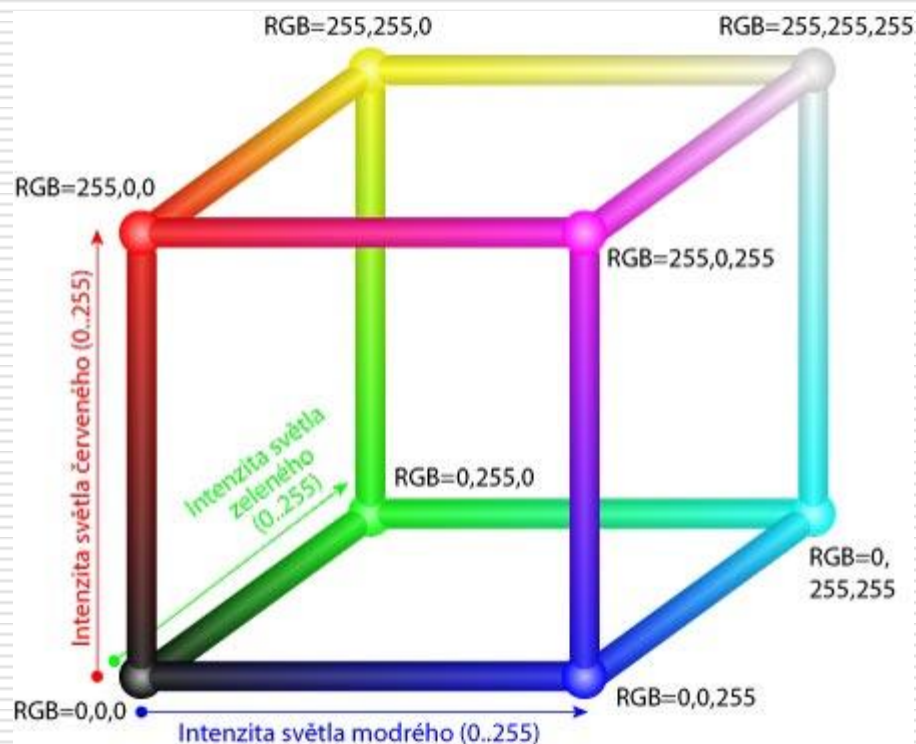
- Světlost barvy vyjadřuje, jak moc světlá se barva jeví, a označuje se často slovy jako "světle modrá", "tmavě červená" atp. Udává se opět v %, přičemž 100 % znamená zcela bílou a označuje maximální jas, kterého je zařízení schopno. 0 % potom označuje černou, čili zcela tmavý (černý) bod.



Barevný model RGB

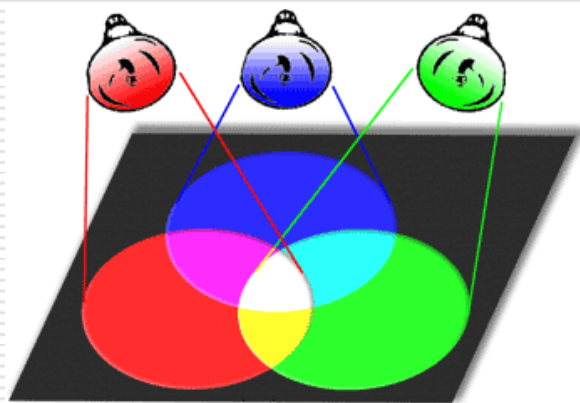
RGB model lze zobrazit jako krychli, kde jednotlivé x, y, z osy odpovídají modrému, červenému a zelenému světlu. Na úhlopříčce krychle je potom stav, kdy všechna tři světla svítí na maximum, tedy vytvoří bílou (RGB=255,255,255).

Velmi zjednodušeně říká, jak moc je drážděn červený (R-Red) receptor oka, jak moc je drážděn zelený (G-Green) a jak moc modrý (B-Blue). Sada 3 čísel RGB potom určuje jak barvu, tak i intenzitu světla



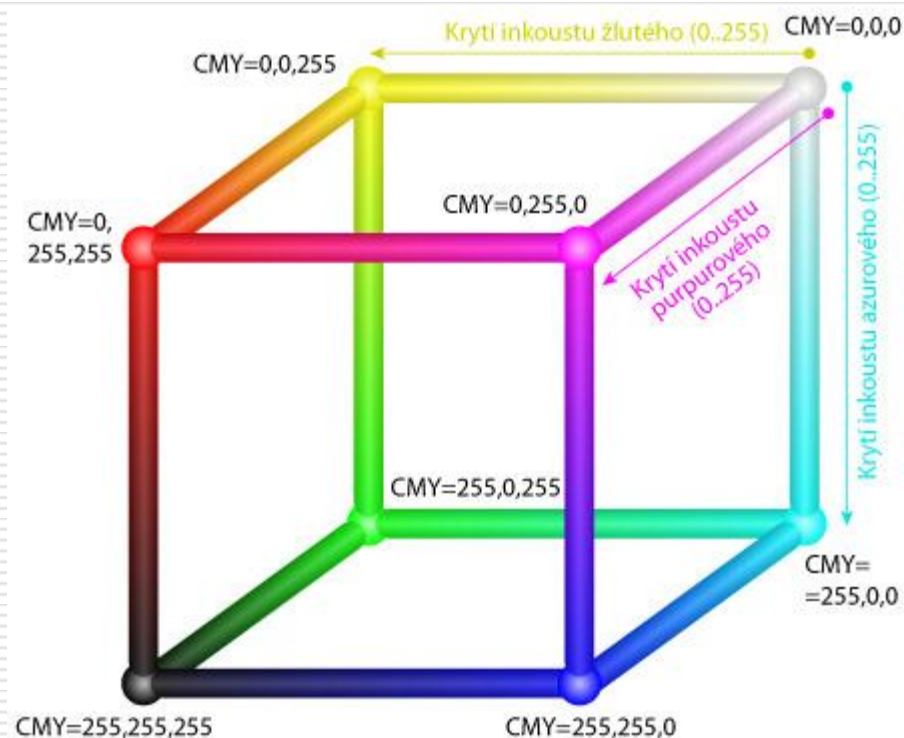
RGB obraz a jeho tři RGB složky

Světlá obloha se skládá ze všech RGB složek (všechny jsou poměrně světlé), červený květ má jen složku červenou a pole se skládá ze zelené a trochu červené. Modrá složka v barvě pole i květu téměř chybí (je hodně tmavá).



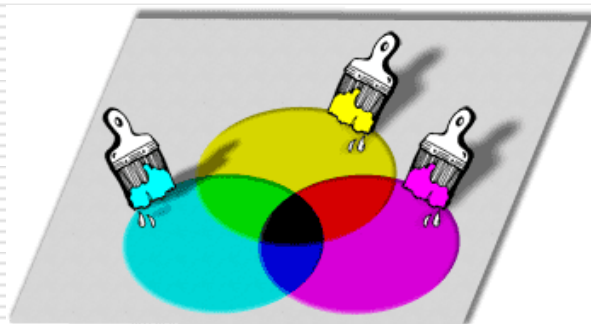
Barevný model CMY(K)

CMY model (tedy bez černé barvy) je teoreticky inverzní k modelu RGB. Lze ho tedy popsat stejnou krychlí, ale s výchozím bodem v bílé barvě (vpravo nahoře) a s inkousty doplňkovými k barvám RGB, tedy CMY. V praxi se ale používá i černá barva a také reálné inkousty mají jinou barvu než přesné doplňkové barvy k RGB.



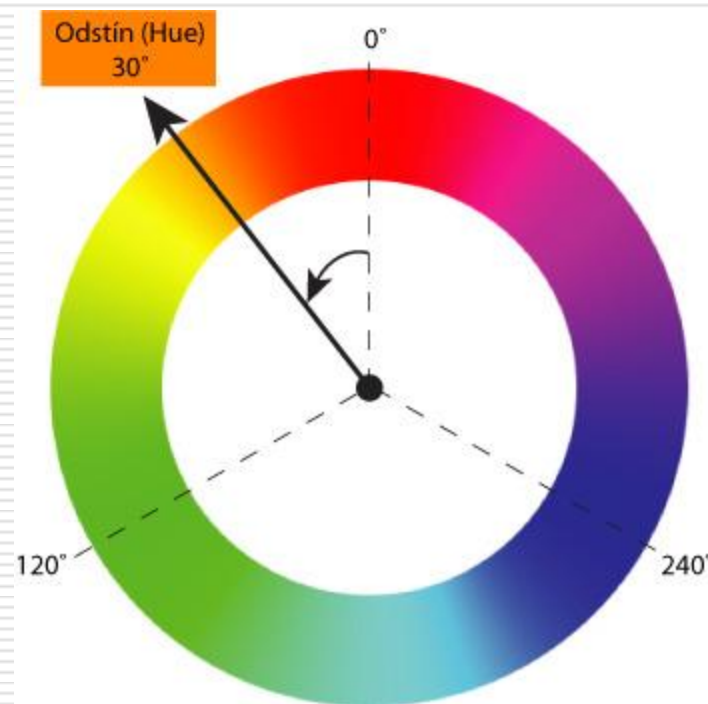
CMY obraz a jeho CMYK složky

CMYK model je subtraktivní model, tedy založený na odčítání RGB barev při odrazu bílého světla od inkoustů. Přidáním všech inkoustů naplno se vytvoří černá barva, neboli všechno světlo je pohlceno. Černá barva jednak pomáhá vytvářet tmavší odstíny, ale také výrazně snižuje spotřebu CMY inkoustů.



Barevný model HSB (HSV)

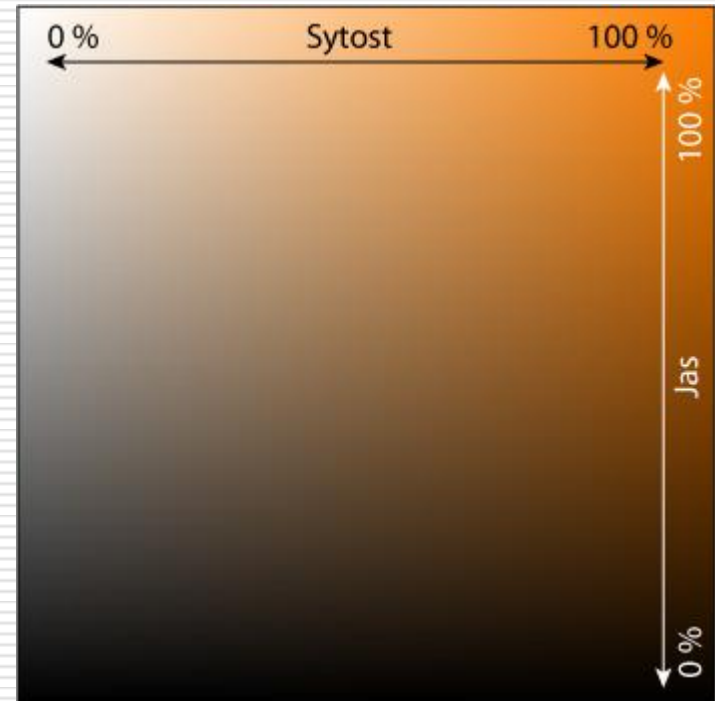
- Barevný model HSB používá podobně jako model RGB také 3 veličiny pro popis barvy, dává jim ale jiný význam:
 - **Odstín** barvy (Hue, H)
 - **Sytost** či saturace barvy (Saturation, S)
 - **Jas** (Brightness, B - někdy též Value, V)



Odstín barvy (Hue) se v modelu HSB určuje úhlem na barevném kole. Na příkladu je uvedena barva v úhlu 30° - tedy oranžová

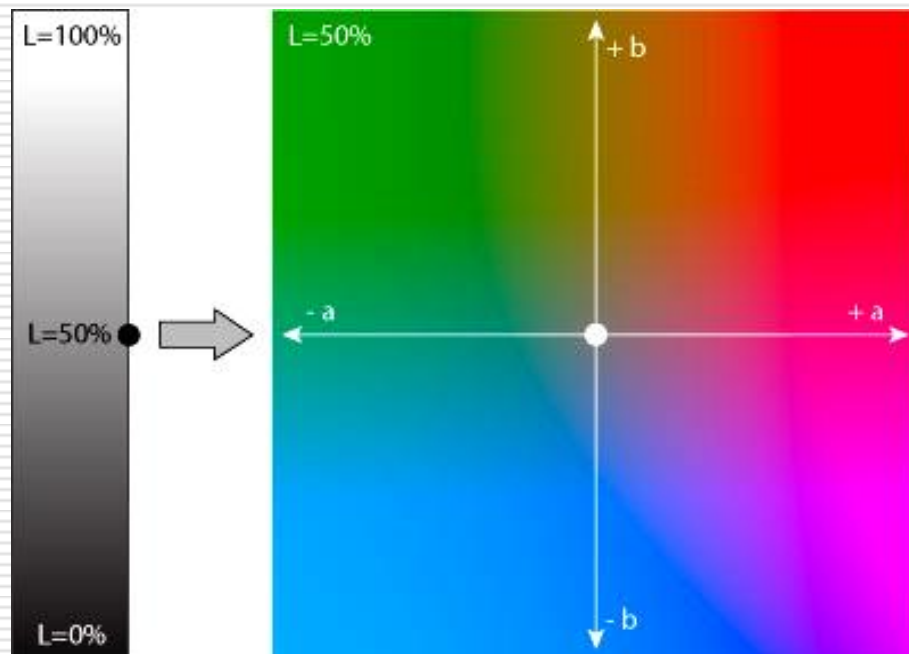
Jas a sytost

- **Jas** (Brightness či Value) a **sylost** (Saturation) doplňuje odstín (Hue) na úplný popis. Sylost říká, kolik je přimícháno bílé (šedé) a jas říká její světlost.
- Model HSB se dobře uplatní při editaci fotografií případně při grafických návrzích.



Barevný model Lab (L^*a^*b)

- Model Lab používá opět 3 složky pro popis barvy s významem:
 - **Světlost** (Lightness, L), která v rozsahu 0 až 100 popisuje světlost bodu. 0 znamená černý bod, 100 znamená bílý bod.
 - **Složka barvy a**, která popisuje barvu bodu ve směru od zeleno-modré (záporné hodnoty) po červeno-purpurovou (kladné hodnoty). Například Photoshop umožňuje zadávat hodnoty od -128 do +127.
 - **Složka barvy b**, která popisuje barvu bodu ve směru od modro-purpurové (záporné hodnoty) po zeleno-žluto-červenou (kladné hodnoty).



Barevný model Lab se skládá z jasové složky zcela oddělené od barev a dvou barevných složek, které popisují barvu bodu.

Diagram chromatičnosti CIE

Každý barevný vjem může být způsoben podrážděním každého receptoru zvlášť, použije-li se přiměřená množství světel R,G,B potřebných k jeho vyvolání. Potřebná množství zvoleného červeného, zeleného a modrého světla se určují podle grafu trichromatických činitelů x , y , z pro které platí $x+y+z = 1$. Pro

charakterizování barevného tónu tedy stačí dvě hodnoty,

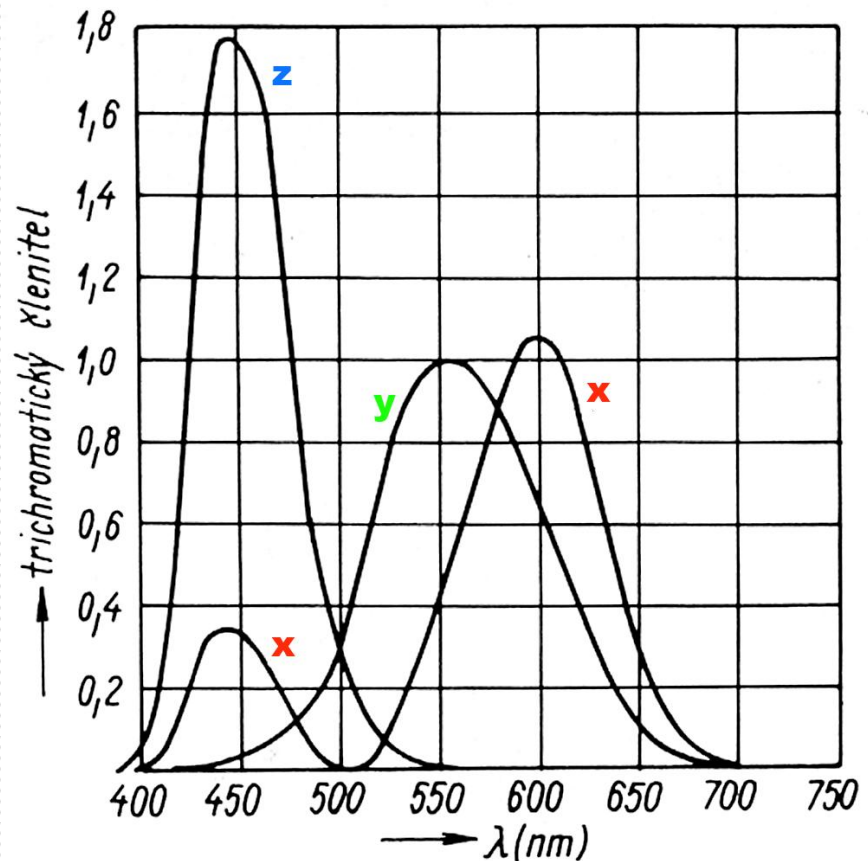
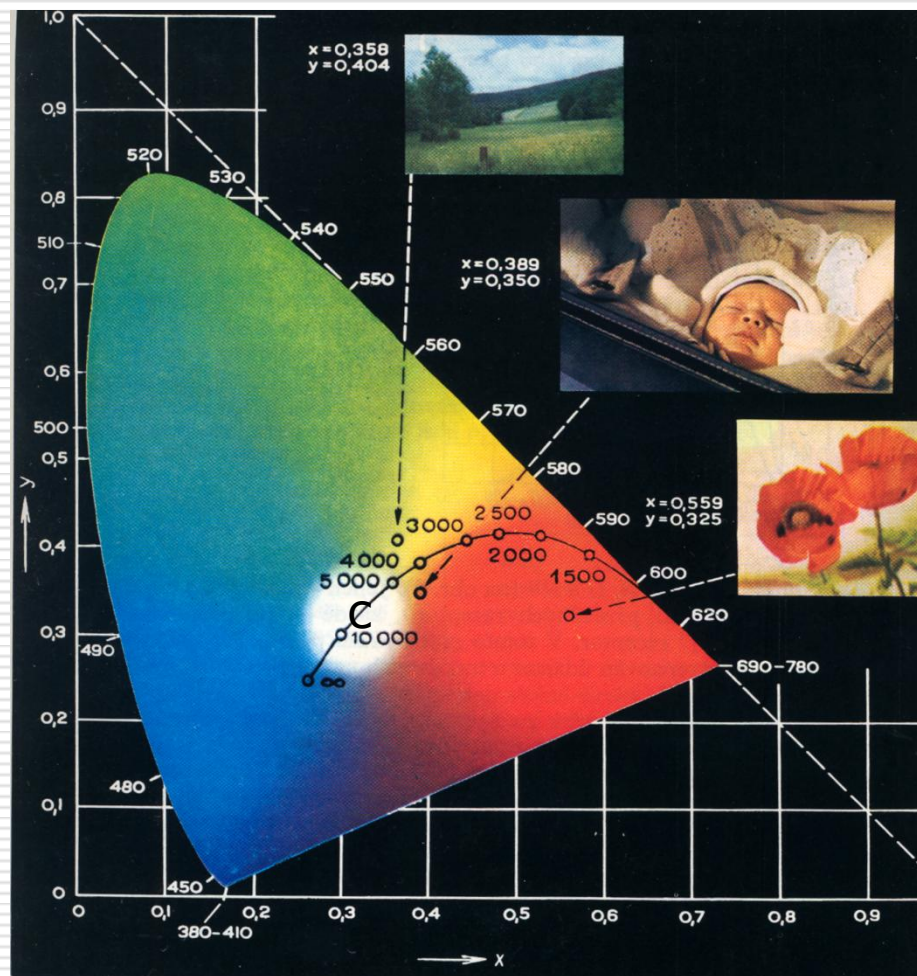


Diagram chromatičnosti CIE

Obvod podkovy vyznačuje polohu monochromatických (**sytych**) světél, souřadnice $x=y=0,33$ určují polohu bílého světla (C), tedy barev **nepestrých** (bílá, šedá černá). Křivka uvnitř plochy je tzv. čára **teplotních zářičů**. Konce podkovy spojuje přímka, vyznačující polohu směsí fialového a červeného světla (purpurové barvy nespektrální). Celkem na podkově je rozlišeno 150, na přímce 30, celkem 180 tónů **barev pestrých**.

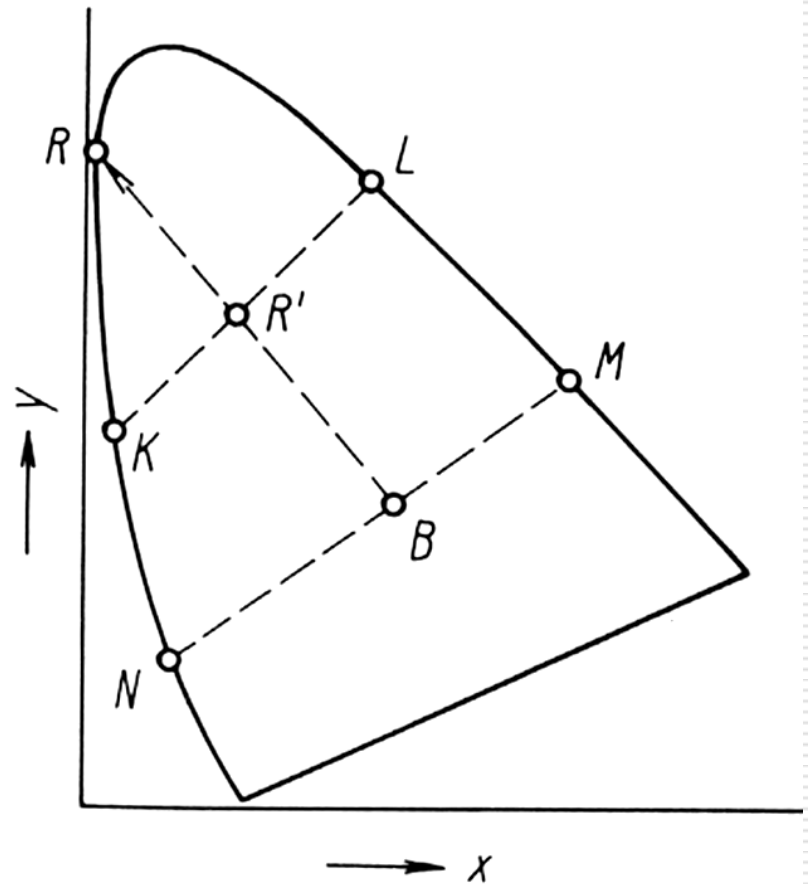


Vlastnosti CIE diagramu

- všechny viditelné barvy jsou uvnitř podkovy
- intenzita (světlost) barev je ignorována, dvě barvy se shodným tónem a sytostí se promítají do stejného bodu diagramu
- spektrální (monochromatické) barvy leží na křivkovém okraji podkovy
- úsečka mezi modrou a červenou barvou je „purpurová čára“
- bod C je „bílý bod“
- protože xy -rovina je projekcí lineárního prostoru (barevného prostoru), lze také skládat barvy lineárně na CIE-diagramu
- *komplementární barvy* jsou barvy, jejichž kombinací složíme bílou
- dominantní vlnovou délku barvy nalezneme na polopřímce spojující bílou a testovanou barvu. Je to průsečík s křivkovým okrajem podkovy

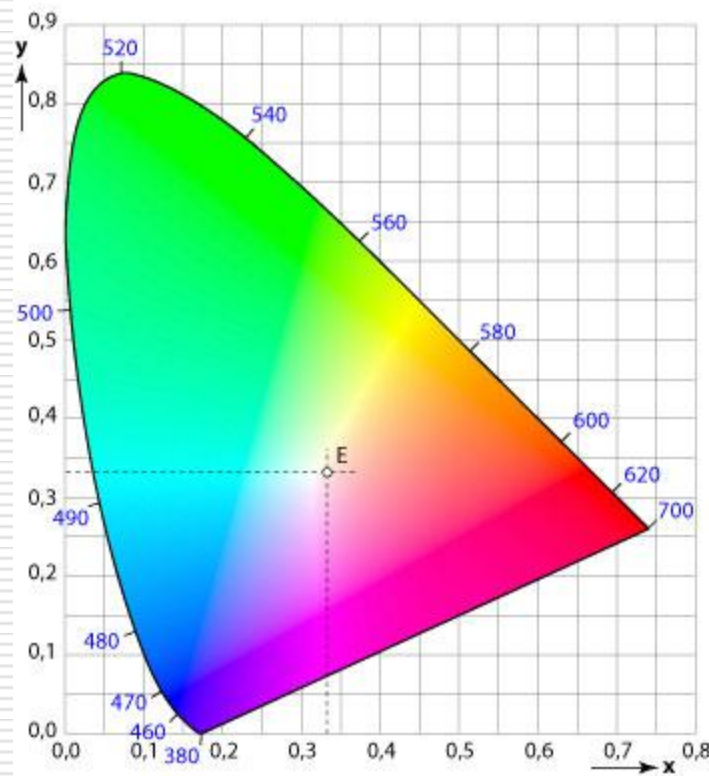
Vlastnosti CIE diagramu

- Směs světel K a L leží na spojnici KL. **Barevný tón** odpovídající směsi např. v R' odpovídá průsečíku spojnice R' a B s podkovou. Směs dvou spektrálních světel je vždy **méně sytá** než základní složky.
- Barvy dávající smísením bílou (M, N) jsou **doplňkové**.



Gamut

Gamut je soubor všech barev, které je zařízení schopno zaznamenat (fotoaparát, scanner) nebo reprodukovat (tiskárna, monitor). Obvykle se graficky vyjadřuje jako podmnožina CIE chromatického (barevného) diagramu. Tento diagram se vztahuje k průměrnému divákovi a nezabývá se jasnem, ale pouze barvou a její sytostí. Díky tomu může být přehledně zobrazen v rovině a je to vlastně gamut lidského vidění.



CIE 1931 chromatický diagram představuje gamut lidského vidění. Vnější hranice je tvořena spektrálními barvami, vnitřek potom všemi barvami rozlišitelnými okem.

Barevná primitiva RGB (TV)

- odpovídají poloze tři typů barevných TV luminoforů:

$$R = [0.670, 0.330],$$

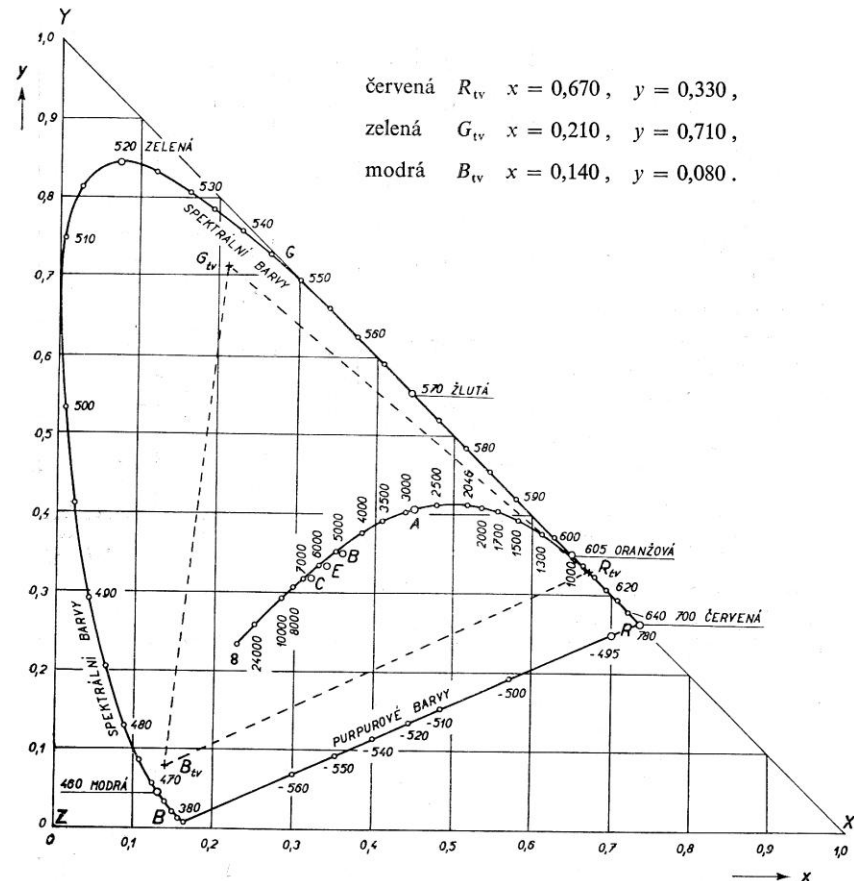
$$G = [0.210, 0.710],$$

$$B =$$

$$[0.140, 0.080]$$

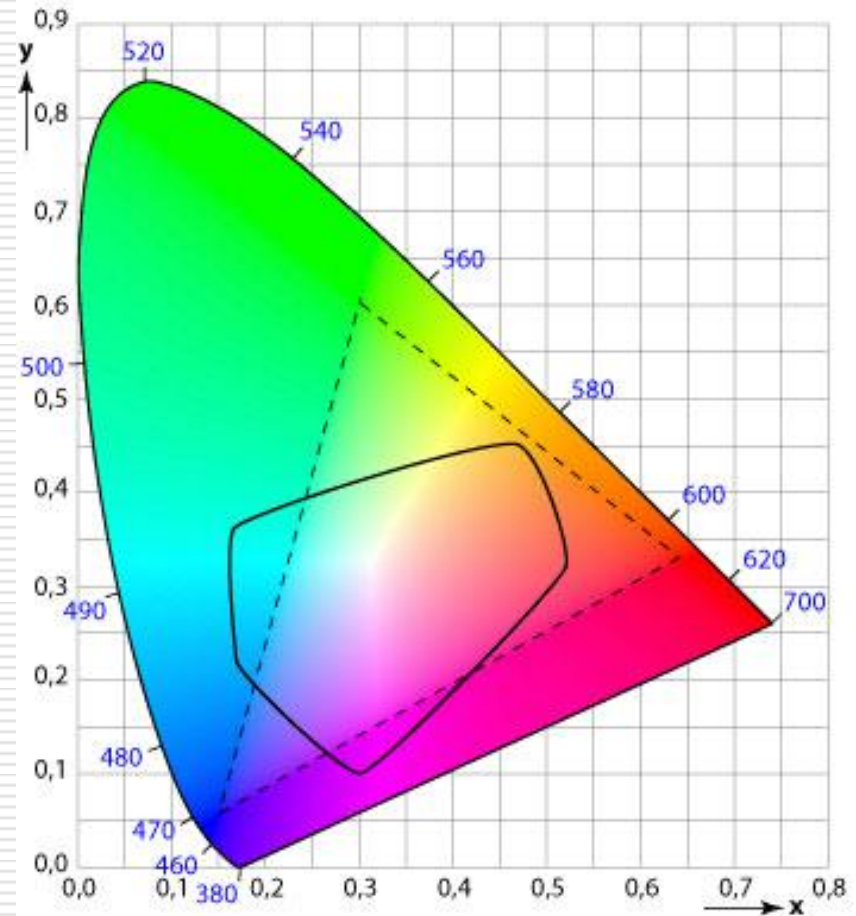
- izoenergetická bílá E má souřadnice $[1/3, 1/3]$,

- Standardní bílá D65 (C) $[0.313, 0.329]$



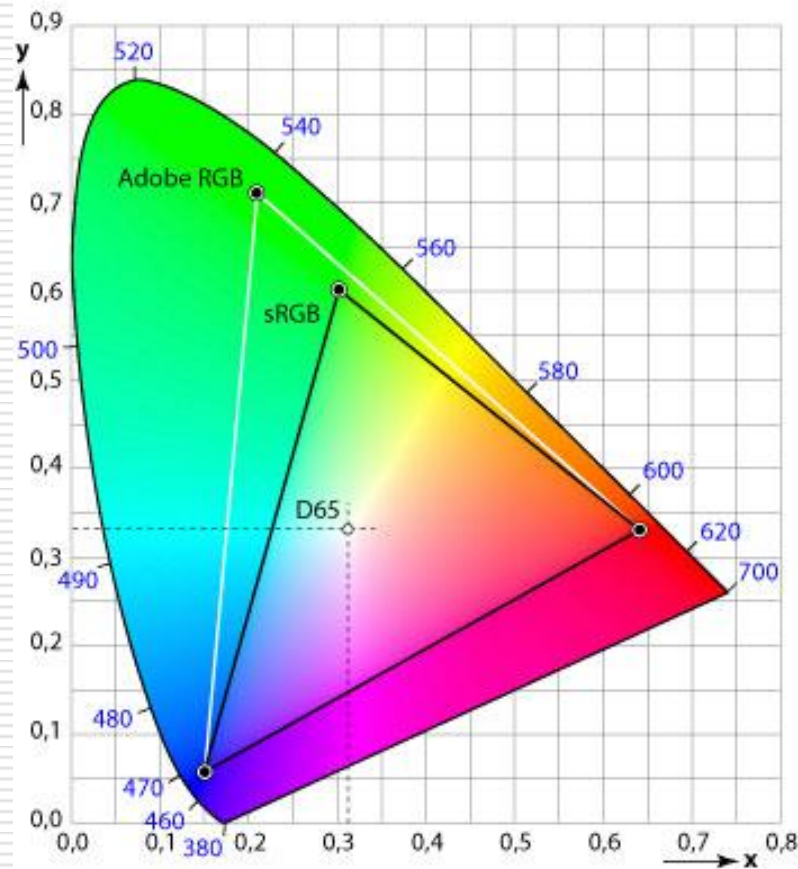
Gamut RGB monitoru a tisku CMYK

- Tiskárny používají jiný barevný model, a sice CMYK. Ten je založen na subtraktivním míchání obvykle čtyř, ale i více inkoustů, a proto je jejich gamut složitější než RGB gamut. Navíc se tento gamut významně mění s jasnem a např. ve světlých či naopak v tmavých tónech je horší než v tónech středních. Stejně jako u modelu RGB nejsou pochopitelně inkousty nijak standardizovány, a tak obecný CMYK bez dalších údajů také nemá konkrétní smysl.
- Na obr. je znázornění gamutu barevného modelu CMYK v porovnání se sRGB



Prostory Adobe RGB a sRGB

- Barevný prostor sRGB Prostor sRGB skvěle vyhovuje monitorům a je i typickým prostorem, v kterém ukládají snímky všechny digitální fotoaparáty. Barevný prostor sRGB má definovány tři základní RGB barvy, bílý bod D65 a gamma křivku
- Schopnosti digitálních fotoaparátů jsou však z hlediska barvy přece jenom lepší než omezený gamut sRGB. Proto lze v menu většiny fotoaparátů nastavit nejen sRGB, ale i barevný prostor Adobe RGB. Ten je větší než sRGB, a to zejména v oblasti zelené a azurové barvy.



Gamut Eizo CG241W, AdobeRGB a ofsetového tisku na lesklou křídu

Technologie panelu:

S-PVA

Rozlišení panelu:

1 920 × 1 200 (16:10)

Úhlopříčka panelu:

61 cm (24"), viditelná
plocha 518 × 324 mm

Interní gamma korekce:

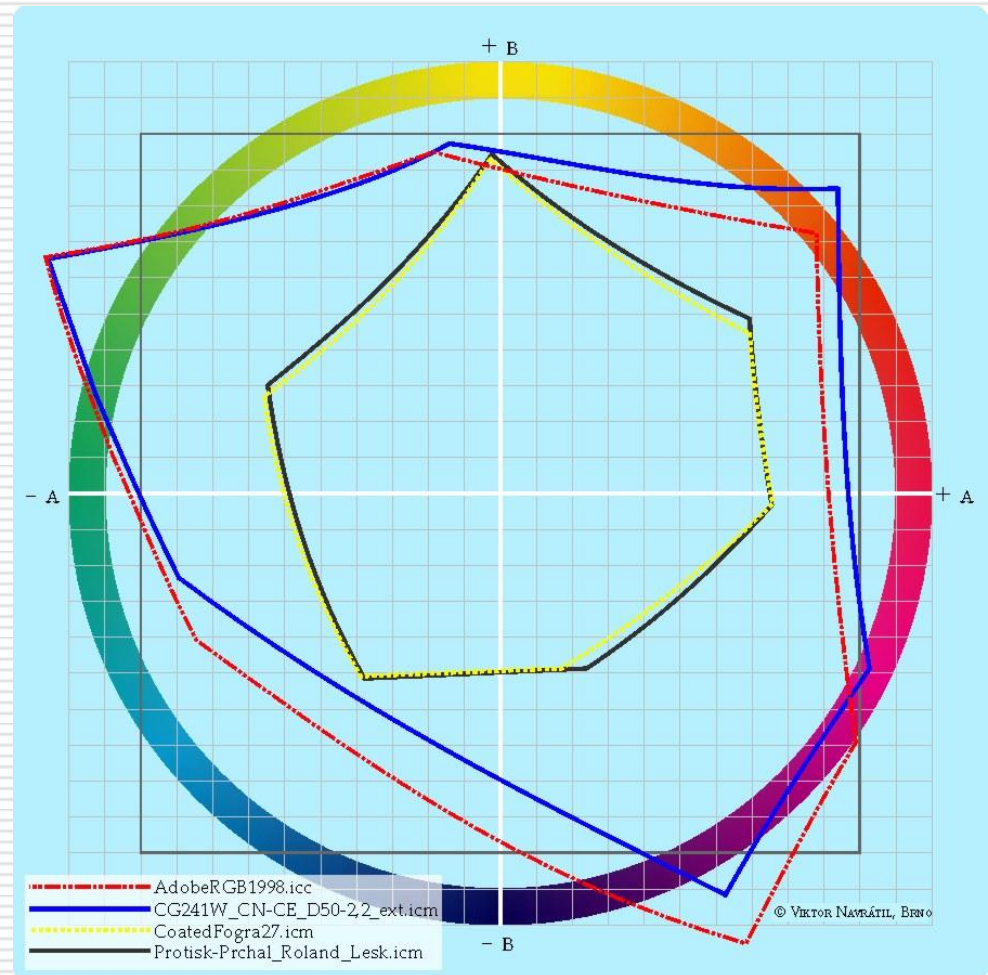
12bit LUT tabulka, 16bit
zpracování

Rozsah jasu:

50-300 Cd/m²,
automatická stabilita jasu,
korekce uniformity DUE

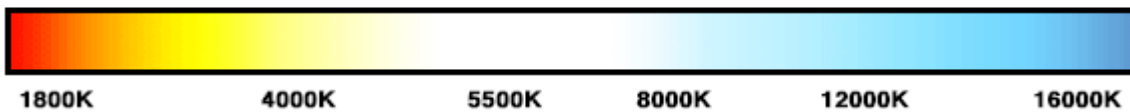
Kontrast:

300:1 typ., max. 850:1



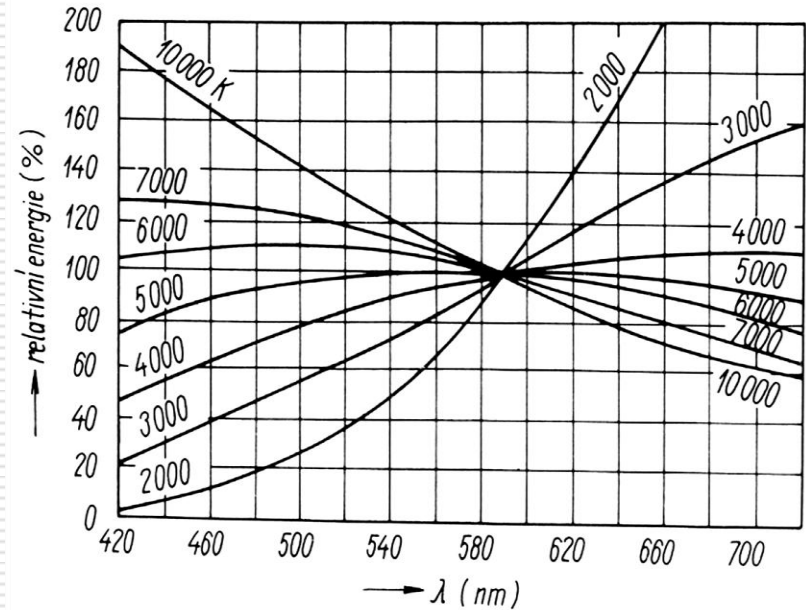
ICC profil zařízení

- Popsat komplexně chování zařízení ve vztahu k reprezentaci barev se snaží tzv. ICC profil zařízení. Jeho formát definovalo [International Color Consortium](#) a popisuje schopnosti zařízení ve vztahu k nezávislému a dostatečně velkému barevnému prostoru (obvykle L^*a^*b nebo CIE). Je to běžný soubor v počítači s příponou ICC či ICM, který obsahuje kompletní barevné chování zařízení a případně návod, jak barvy pro něj vhodně konvertovat. Každé zařízení by mělo mít svůj ICC profil, který se obvykle do operačního systému dostane při instalaci ovladačů či programů.



Teplota chromatičnosti

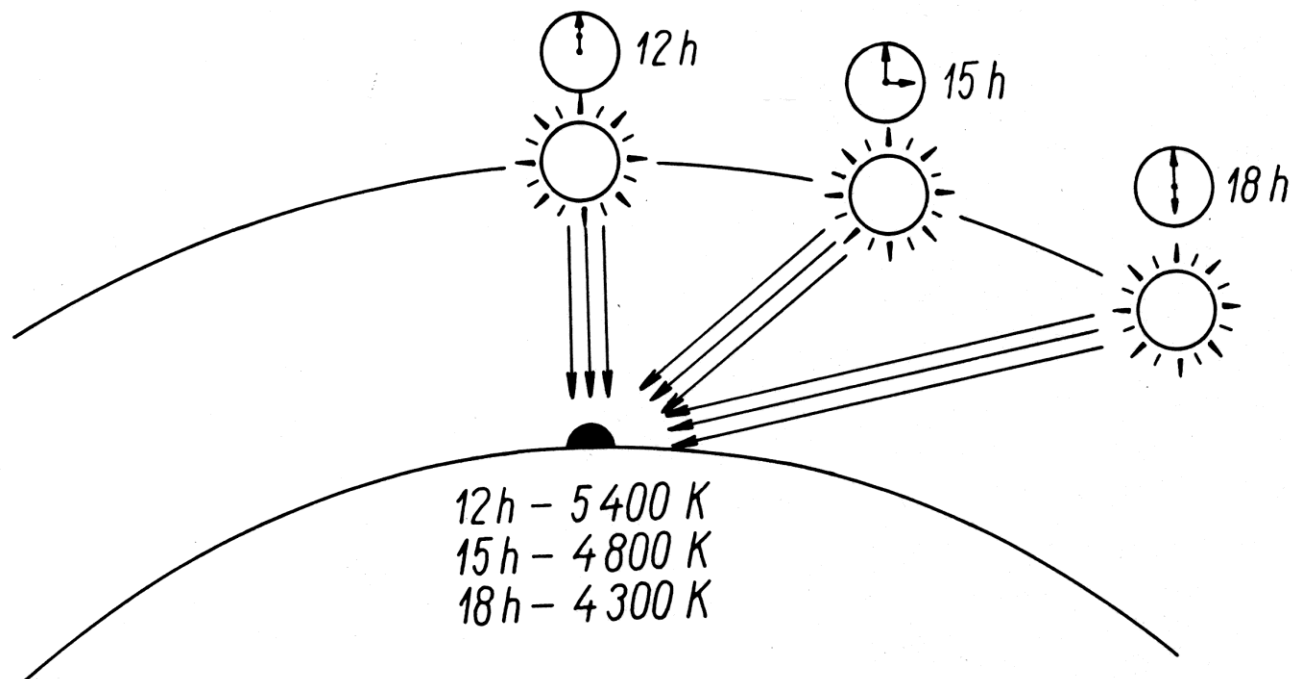
- Barevná teplota charakterizuje spektrum bílého světla. Světlo určité barevné teploty má barvu tepelného záření vydávané černým tělesem, zahřátým na tuto teplotu.
- Člověk své vnímání barev přizpůsobuje světlu – bílý papír vnímá jako bílý, i když je vlivem osvětlení zabarvený. Fotoaparáty a kamery se naproti tomu musí na barevnou teplotu nastavovat
- Filmový materiál je naproti tomu většinou kalibrován na denní světlo, a barevné tónování se upravuje speciálními filtry



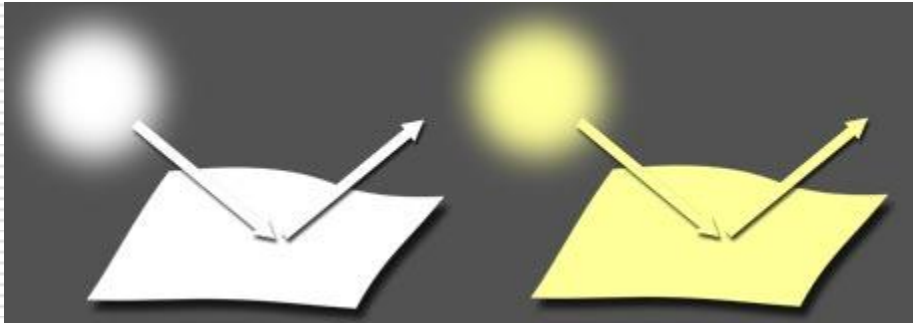
Rozložení energie ve spektru absolutně černého tělesa

Teplota chromatičnosti

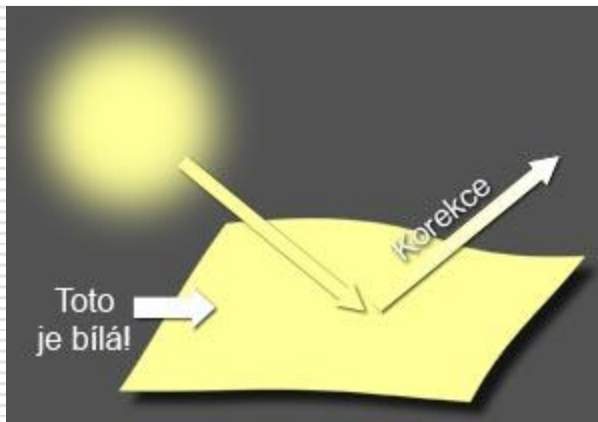
- Vliv různé polohy slunce během dne na teplotu chromatičnosti



Teplota chromatičnosti



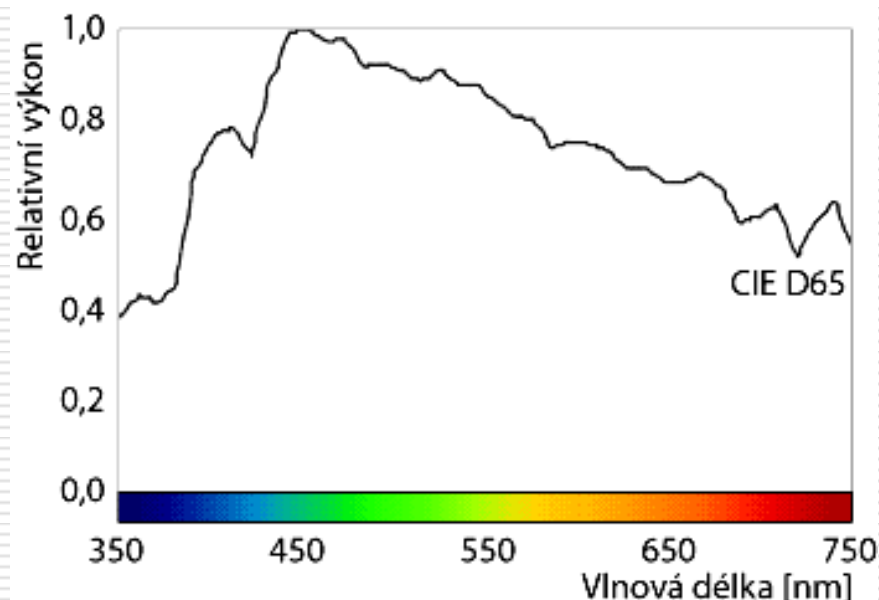
Bílý papír není bílý. Má vždy barvu světla, které na něj svítí



Na základě známé barvy předmětů provede mozek korekci signálu z očí tak, aby předměty zachovávaly svojí barvu. Mozek tedy eliminuje barvu osvětlujícího světla – provádí vyvážení jeho barvy (korekci) na bílou.

Bílé světlo

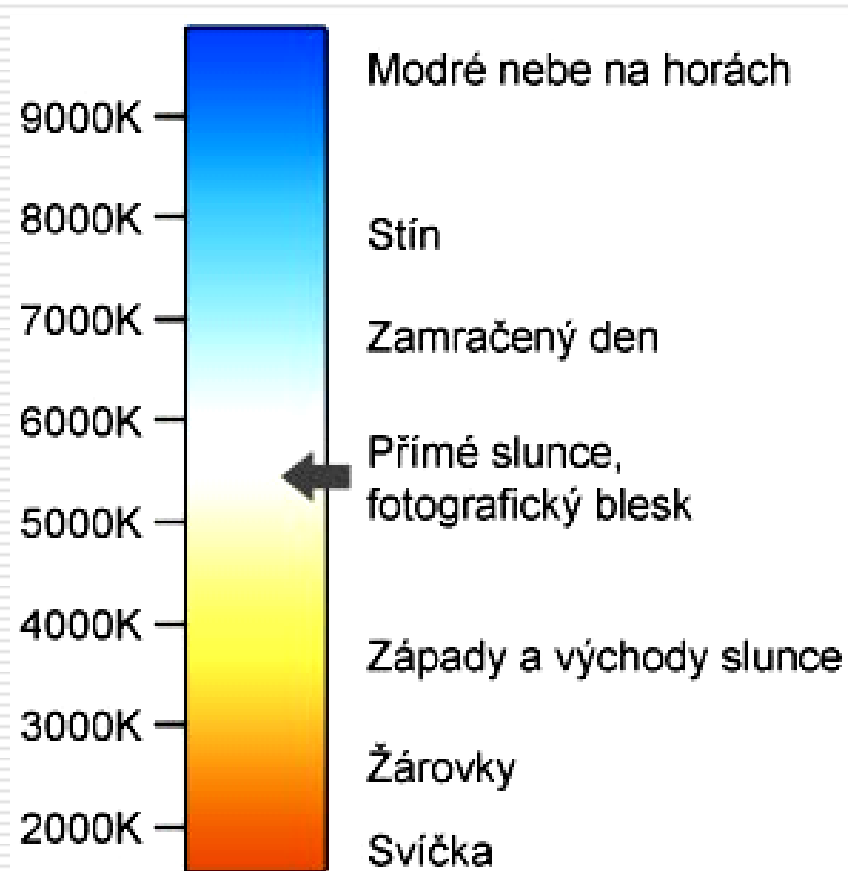
- Za bílou v lidském slova smyslu lze považovat takové světlo, které dráždí všechny tři druhy barvocitlivých receptorů oka stejně. Bílá je tak velmi subjektivní záležitost (jako vše související s viděním), a proto byly vytvořeny standardy pro bílou.
- Jedním ze standardů pro bílou je tzv. standard D65. Je použit v barevném prostoru sRGB a dále třeba v televizorech.



Spektrum standardizovaného bílého světla D65 odpovídá polednímu, mírně zamračenému dni v Evropě a má odpovídající teplotu 6500K

Barva typických světel

Teploata v K	Typický zdroj světla
1200-1500	Svíčka
2500-3200	Běžná žárovka (40-200W)
3000-4000	Východ a západ slunce
4000-5000	Zářivka
5000-6000	Sluneční světlo (slunný den), fotografický blesk
6000-7000	Zamračený a mlhavý den
7000-8000	Fotografie ve stínu slunce
8000-11000	Modré nebe bez slunce (hory)



Konverzní filtry

- „Bílé světlo“ může mít tedy různý odstín. Barevné materiály jsou vyváženy buď pro „denní“ světlo (cca 5500 K) nebo „umělé“ (cca 3200 K, označení T – tungstram).
- Pro korekce teploty chromatičnosti se používají konverzní filtry načervenalé (snižují teplotu chromatičnosti) nebo namodralé (zvyšují teplotu chromatičnosti).
- Pro měření teploty chromatičnosti se vyrábějí tzv. colortestery které měří poměr intenzit modré a červené složky světla, příp. třípásmové, měřící poměry R:G:B.

Hodnoty mired

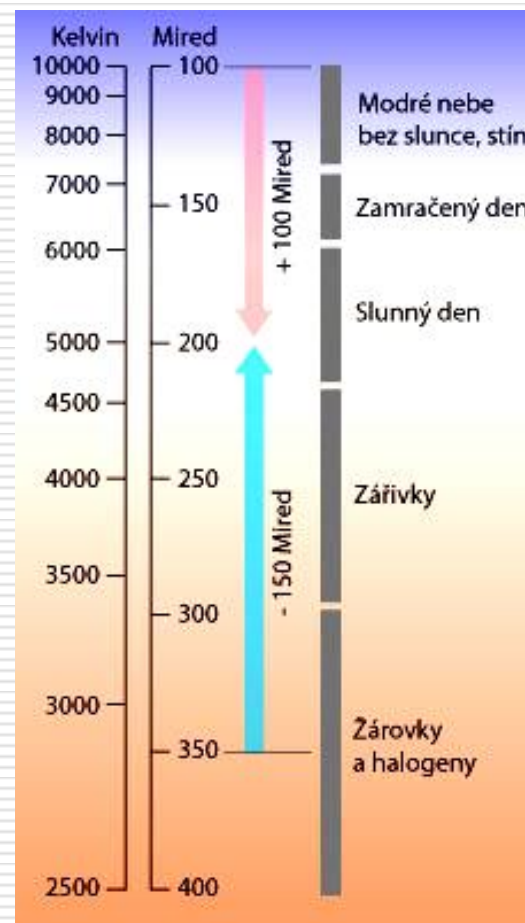
- Konverzní filtry jsou vyráběny v sadách a jejich převodní hodnoty se udávají v **miredch** (*micro reciprocal degree*):
$$a = 10^6 / T$$

v podstatě reciproké teploty chromatičnosti.
- Výhodou je, že stejné diference v miredch odpovídají stejným diferencím v barvě vnímané lidským okem. Prakticky se používá jednotka 10x větší **dekamired**. V dekamiredch jsou nastavovány i barevné korekce u digitálních přístrojů (obvykle vyšší kategorie)

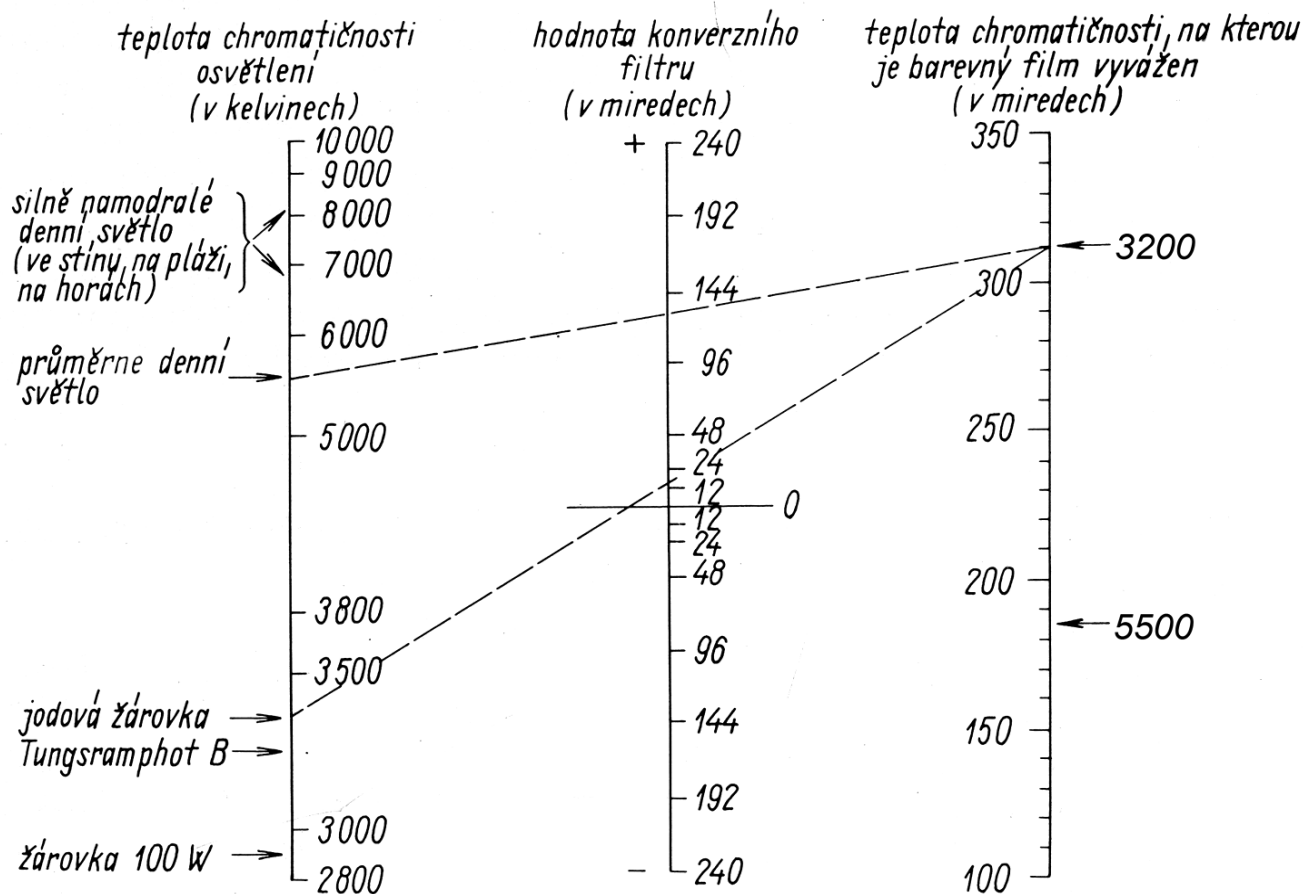
Korekce konverzními filtry

Příklad:

Svítime-li žárovkami o barevné teplotě 2800K (350 Mired), tak modrý filtr, který posouvá barvu o -150 Mired (záporné hodnoty značí posun do modrých barev), ji změní na 200 Mired, což odpovídá 5000K. Naopak je-li světlo velmi modré (10000K = 100 Mired), červený filtr o hodnotě 100 Mired posune barvu světla na 200 Mired, tedy opět 5000K.

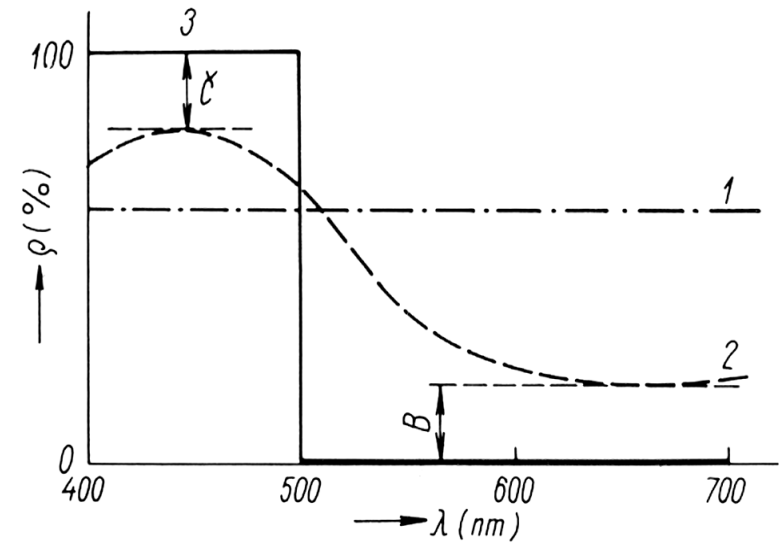


Příklad nomogramu pro konverzní filtry



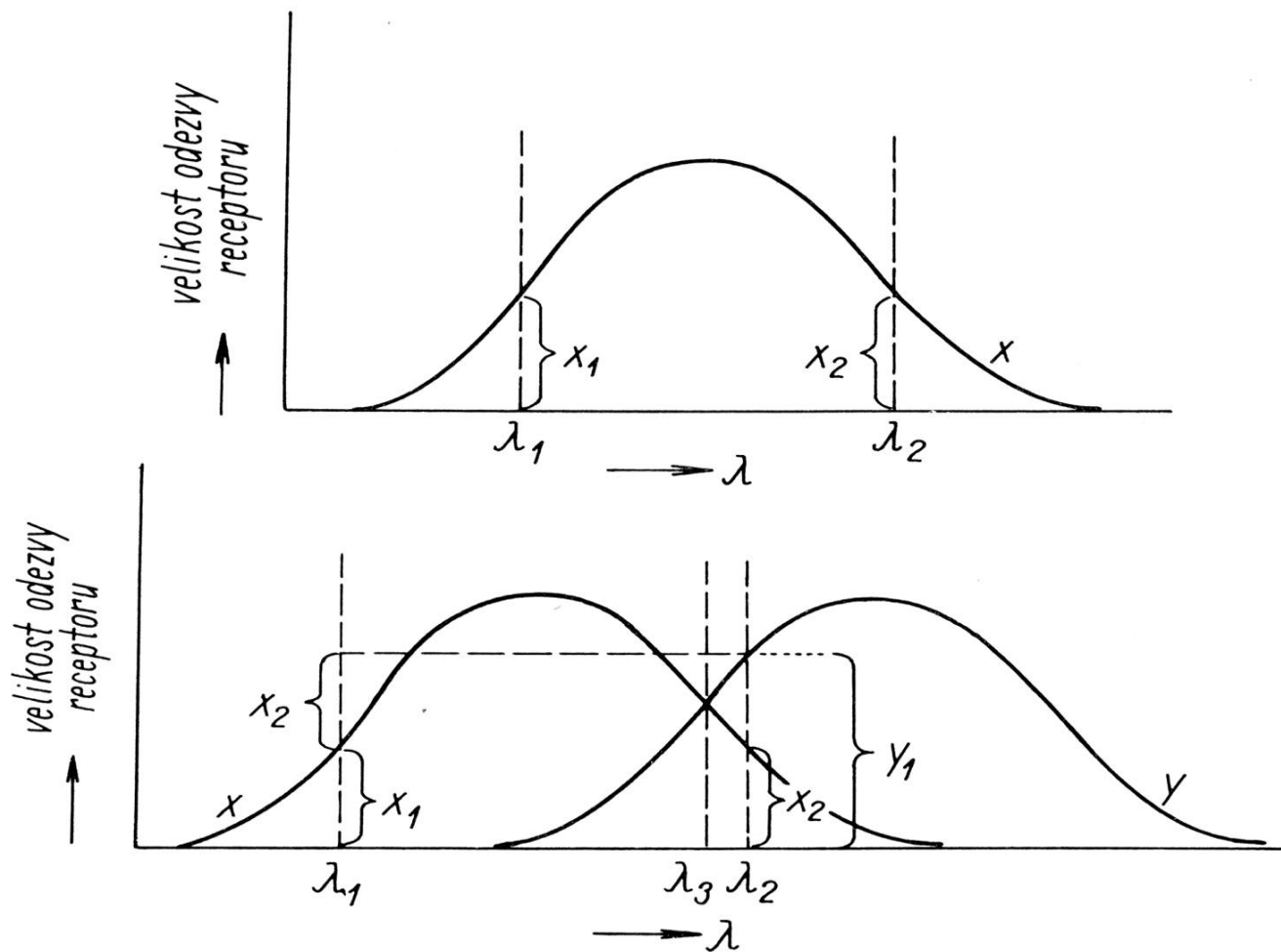
Barvy předmětů

- ❑ Ideální šedá plocha (1)
- ❑ Ideální modrá plocha (3)
- ❑ Skutečná modrá plocha (2) vykazuje ve srovnání s ideální příměs černé (Č) a bílé (B) barvy

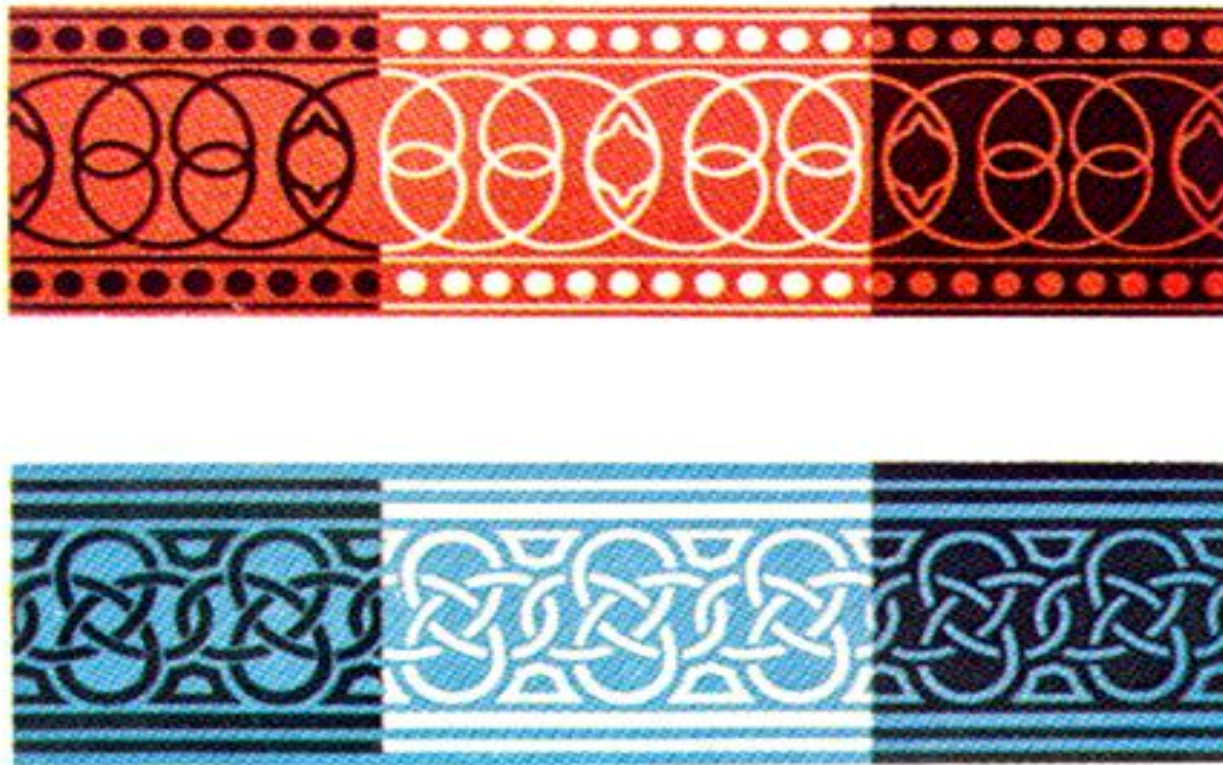


Spektrální reflektance ideálních a skutečných povrchových barev

Sčítání podnětů



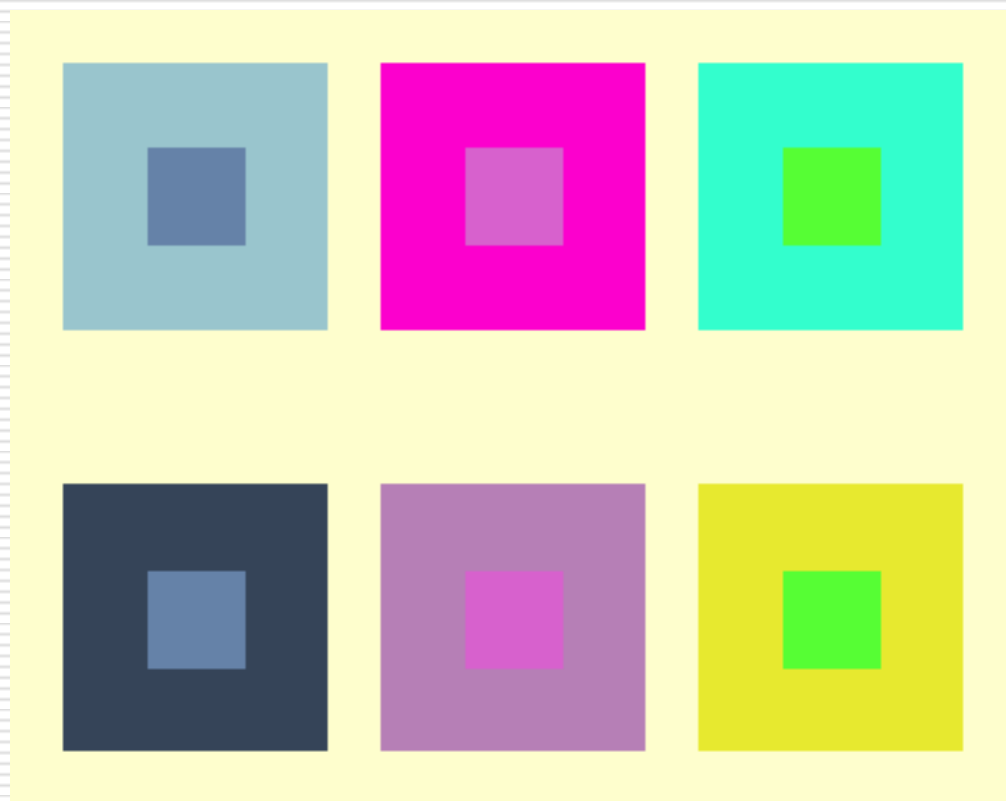
Soudobý kontrast



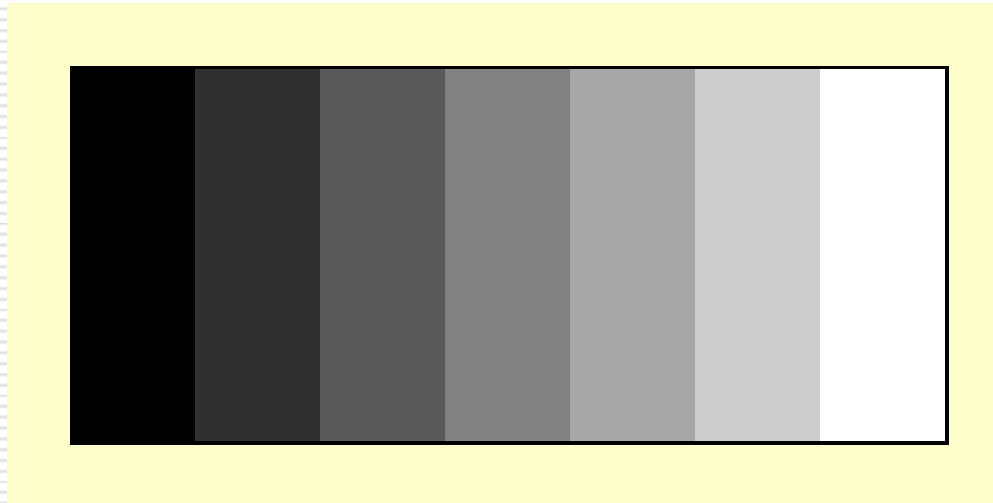
Vliv sousedství černé a bílé na zdánlivou světlost a sytost barvy (podle Evanse)

Simultánní kontrast

- Velké čtverce v dvojici nad sebou se navzájem barevně liší jasem (vlevo), saturací (uprostřed) a barevným tónem (vpravo). Dvojice malých čtverců v jejich středu má vždy přesně tutéž barvu, nicméně kontrast s velkým čtvercem způsobuje, že vypadají, jako by jejich jas (vlevo), saturace (uprostřed) nebo barevný tón (vpravo) byly různé.

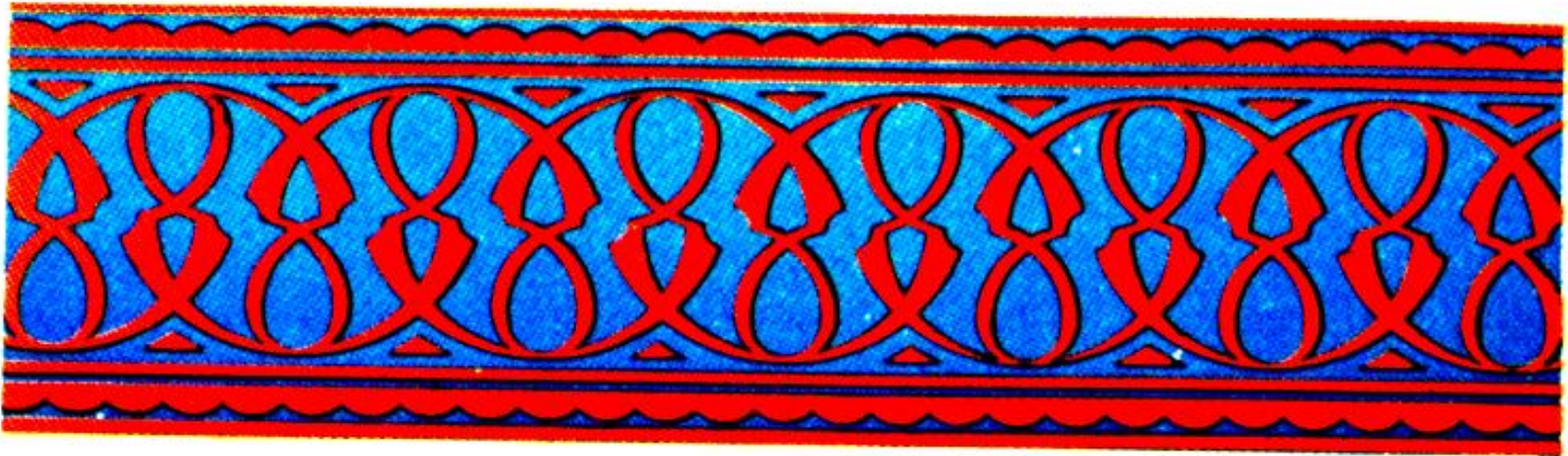


Machovy pruhy



- Kontrast podél náhlých přechodů (hran) se oku jeví větší, než ve skutečnosti je. Díky tomuto efektu vypadá levá strana každého pruhu světlejší než pravá, ačkoli celý pruh je ve skutečnosti stejně tmavý.

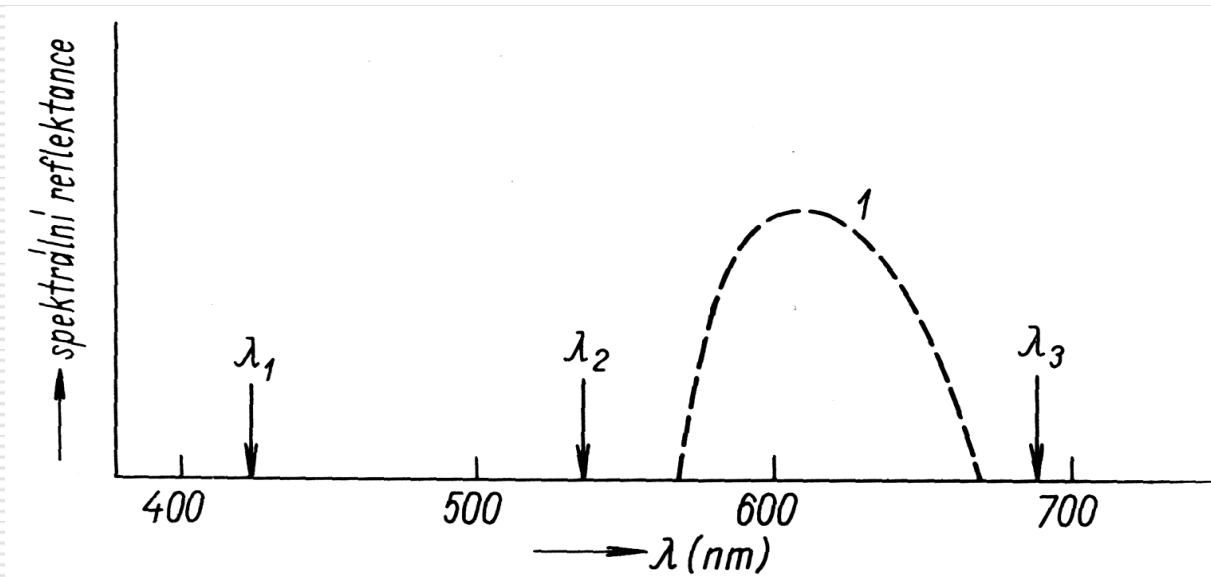
„Přecházení zraku“



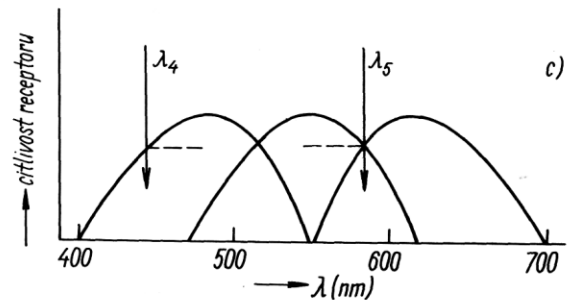
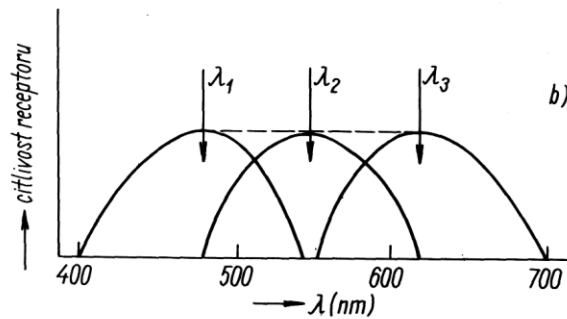
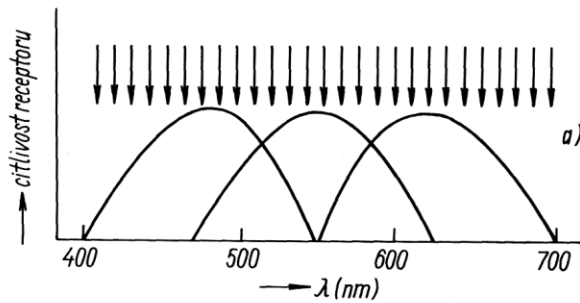
Rozhraní červené a modré barvy se jeví jako neklidné (podle Evanse). Je to způsobeno přeastřováním oční čočky podle ohniska příslušné barvy – barevná vada oční čočky

Vliv spektrálního složení světla

- Křivka spektrální reflektance plochy, která se jeví ve světle složeném z vlnových délek λ_1 , λ_2 , λ_3 jako černá



Vjem bílého světla



- a) světlo zahrnuje všechny vlnové délky
 - b) světlo zahrnuje jen tři vlnové délky $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$
 - c) světlo zahrnuje jen dvě vlnové délky λ_4, λ_5 .
- Ve všech třech případech se světlo jeví oku jako bílé!

Vliv složení světla na podání barev

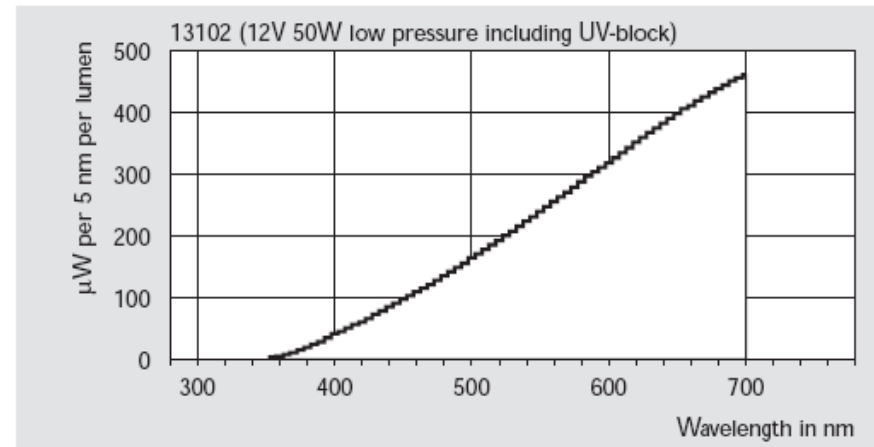
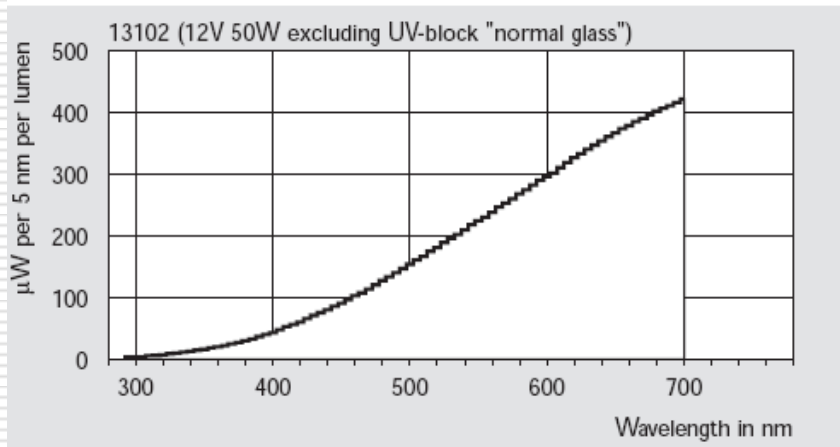
- Na horním snímku je scéna osvětlena světlem se spojitým spektrem (žárovka)
- Na dolním snímku je scéna osvětlena směsí monochromatického červeného a modrozeleného světla, které se jeví oku jako bílé



Světelné zdroje

- **Přirozené zdroje světla** mají spojité spektrum, základem je sluneční světlo v našich zeměpisných šířkách o teplotě chromatičnosti 5500K. (nad atmosférou Země 6565K). Slouží jako srovnávací standard bílého světla. Ve stínu dosahuje při modré obloze až 12000K (ve stínu při sytě modré obloze na horách), při zatažené obloze 6000-8000K.
- **Umělé světelné zdroje** mají často velmi složitý průběh spektra a je možné posuzovat pouze přibližně odpovídající teplotu chromatičnosti. Proto jsou zavedeny pojmy Colour Rendering (Ra) – podání barev ve srovnání se standardním osvětlením a
- **CRI - Colour Rendering Index (činitel věrnosti barvy**, rozsah 0-100) je mezinárodní systém pro popis fyziologického vjemu barvy při osvětlení příslušným světelným zdrojem ve srovnání se slunečním světlem (CRI = 100). Obecněji se používá srovnání i pro zdroje jiné teploty chromatičnosti ve srovnání s příslušným zářením černého tělesa (žárovky CRI = 100)

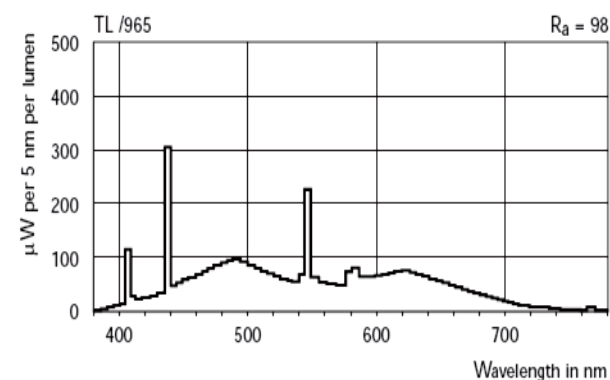
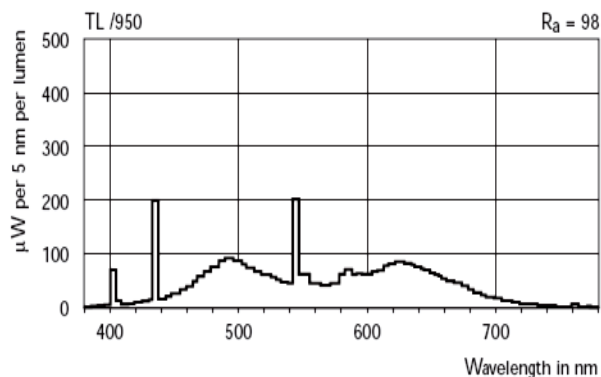
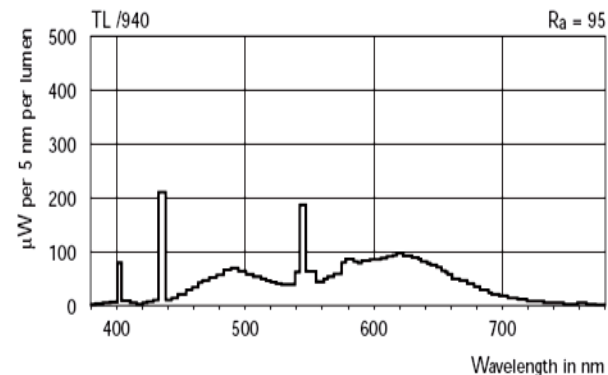
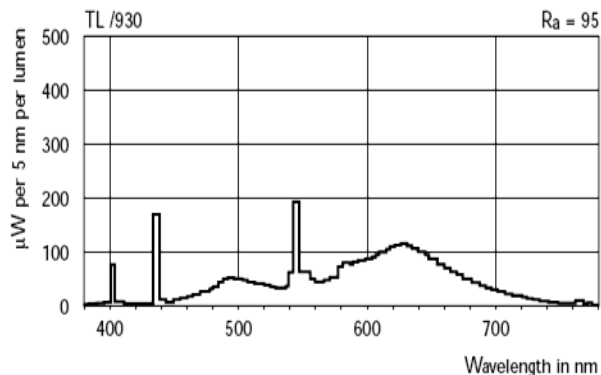
Žárovky (CRI = 100)



Nízkonapěťové halogenové žárovky Philips CAPSULEline Pro
CRI = 100

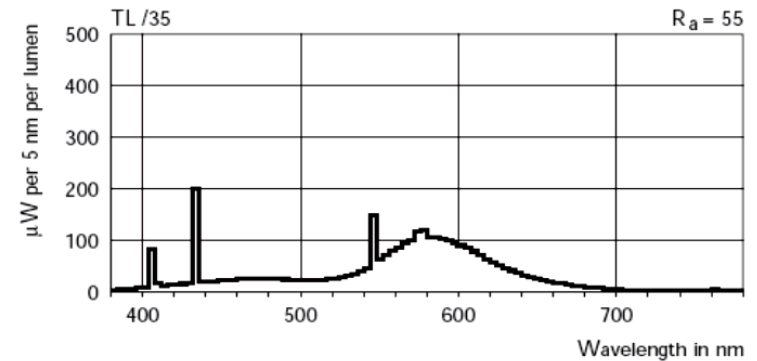
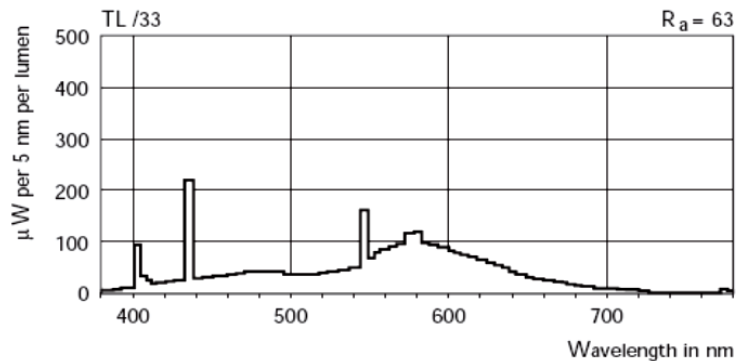
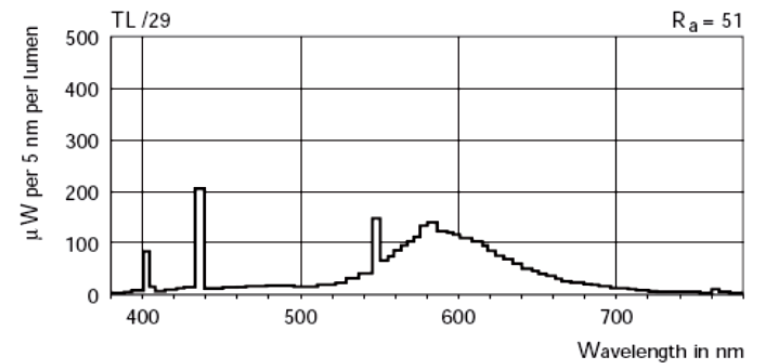
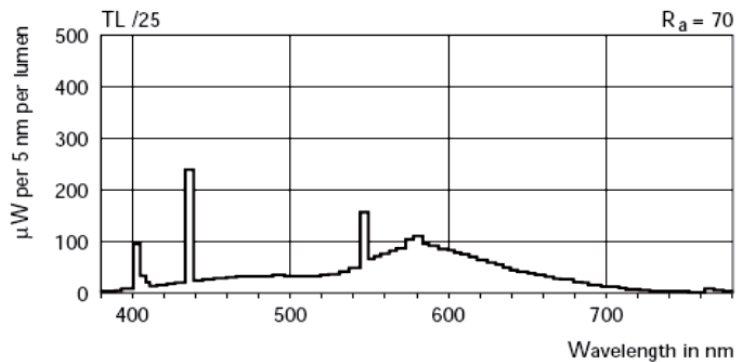
Barevné korekce na teplotu chromatičnosti 5500 K barevné folie
(např. IFF Florencie, Kodak Rochester)

Zářivky s vysokým CRI (>90)



Zářivková trubice Philips TL-D 90 de Luxe
 $T_{\text{chr}} = 3000\text{K}, 4000\text{K}, 5000\text{K}, 6500\text{K}$

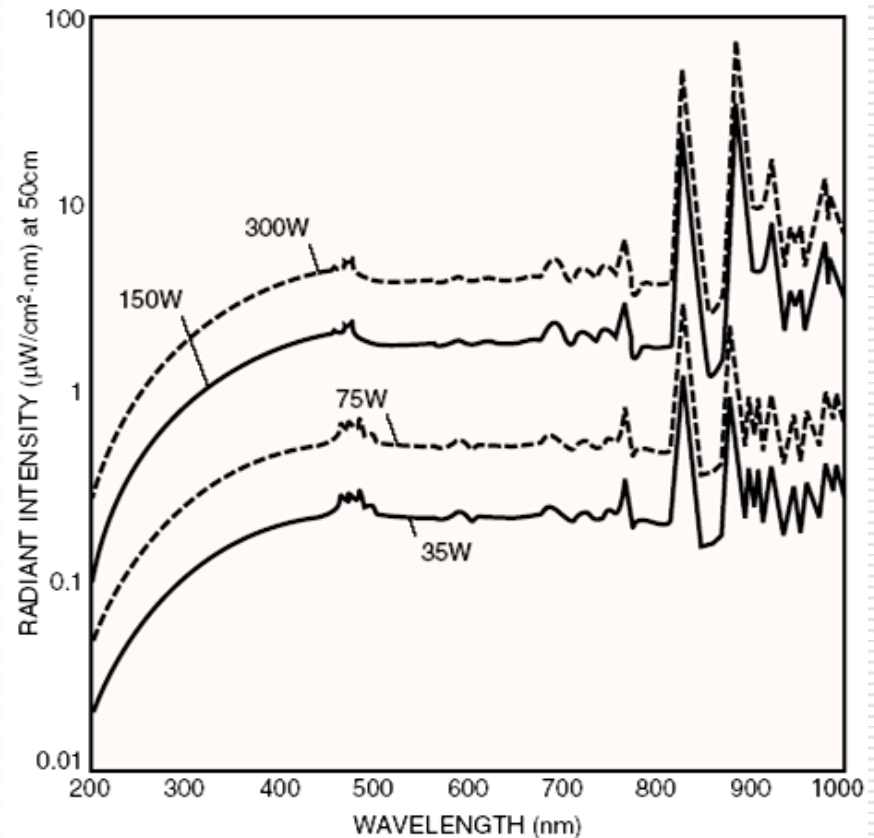
Zářivky standardní (CRI 50-75)



Trubice Philips TL-D Standard colours
CRI 50 – 70

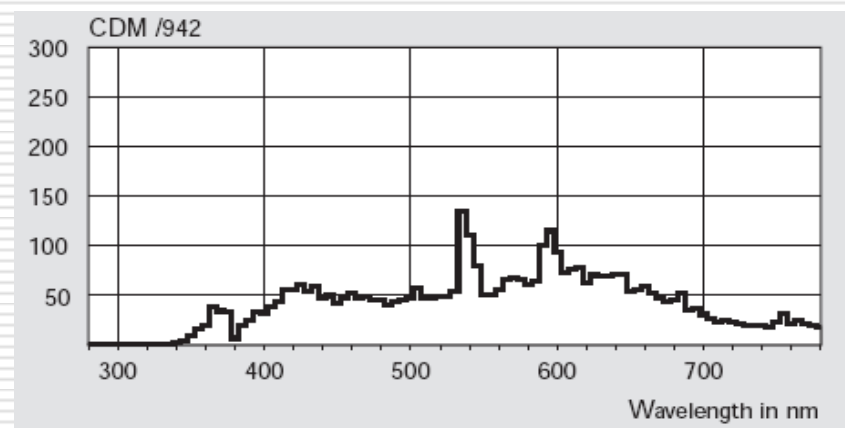
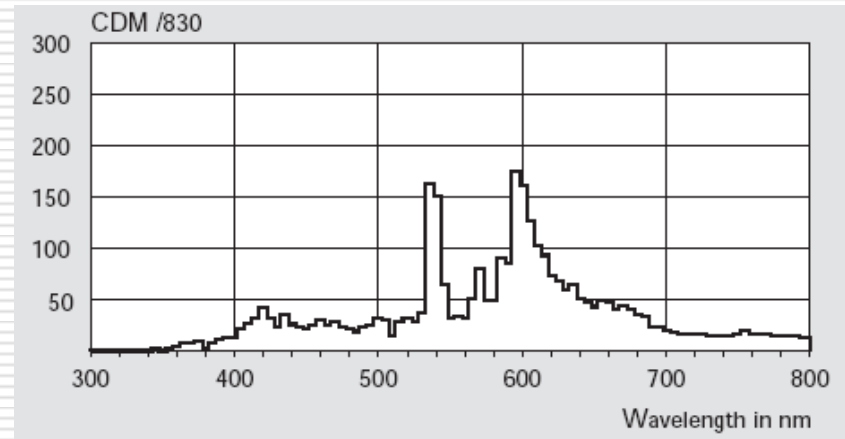
Xenonové výbojky

- Pulzní bleskové výbojky fotografické mají teplotu chromatičnosti 5500K (korigované žlutým filtrem, $D \approx 0,1$) nebo 6000K bez korekce na čáry Xe v modré oblasti spektra. CRI = 95-100.
- Kontinuální xenonové výbojky (výkony do 20kW) pro projekci filmů a přisvětlení scény při denním světle. CRI = 90-98, $T_{chr} \approx 5800K$



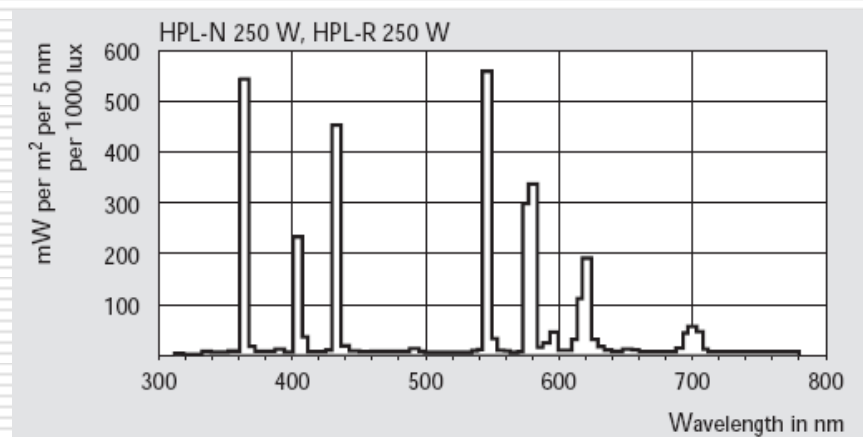
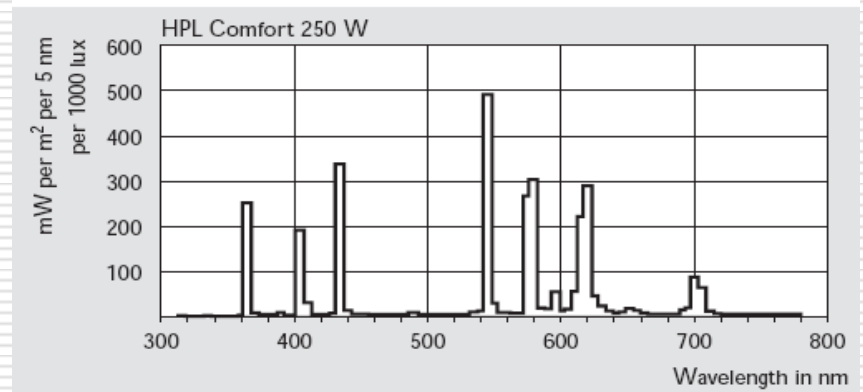
Vysokotlakové výbojky metalhalidové

- Výbojky s náplní směsí rtuti, halogenidů kovů (převážně vzácných zemin) a argonu, příp. xenonu, hořák je z korundu.
- Příklad výbojky Philips MASTER Colour CDM-T s teplotou chromatičnosti 3000 K (CRI až 85) a 4200 K (CRI až 96)
- Výkonové (až 5000W) mají CRI 55 – 85.



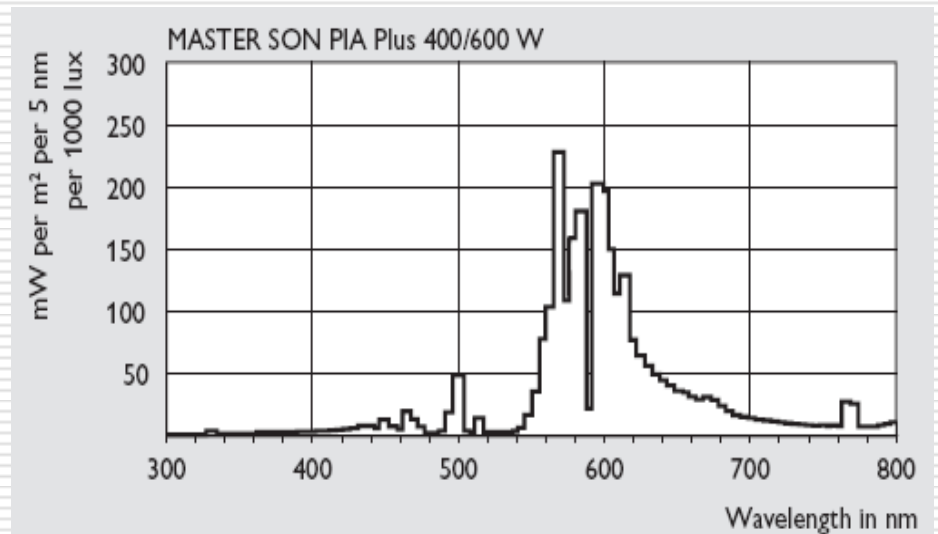
Vysokotlaké rtuťové výbojky

- Klasické výbojky s křemenným hořákem, produkující čárové spektrum. Zlepšení barevného podání se dosahuje pokrytím vnitřního povrchu ochranné baňky luminoforem. CRI se pohybuje podle typu v rozsahu 30-60.



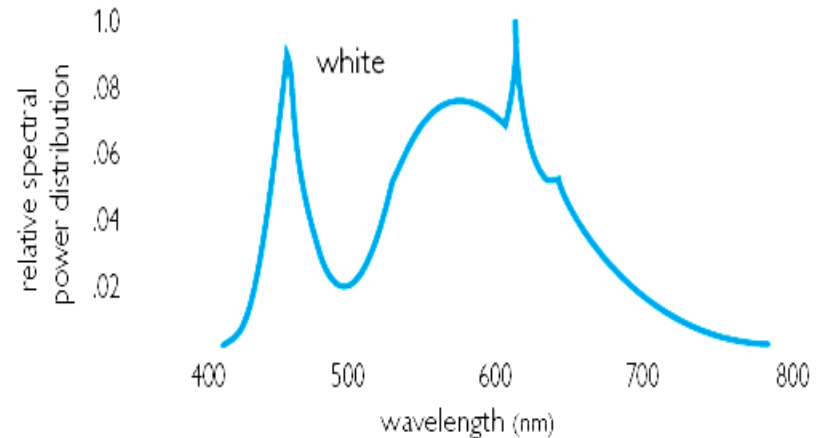
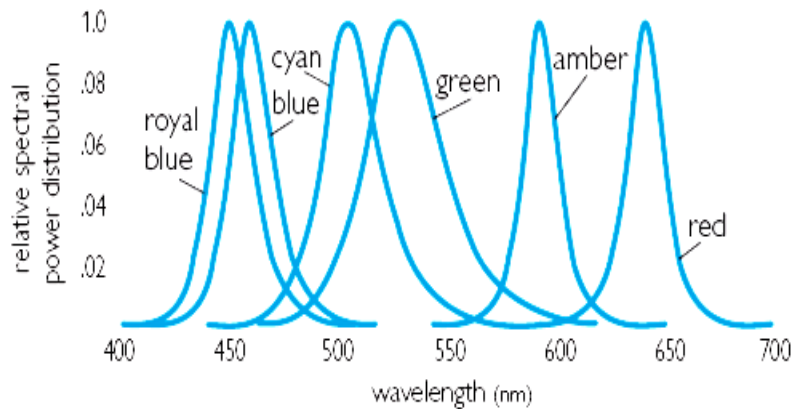
Vysokotlaké sodíkové výbojky

- Díky maximu záření v okolí maxima citlivosti lidského oka dosahují nejlepší světelné účinnosti ze všech zdrojů (typ. 150 lm/W). Korelující teplota chromatičnosti je kolem 2000 K. Světlo má ale charakter téměř monochromatického záření. CRI se pohybuje mezi 20–30.



LED (Light emitting diode) zdroje

- ❑ Moderní polovodičové zdroje světla. Mají již vysokou účinnost, dlouhou životnost a jsou otřesuvzdorné – důležité pro mobilní zařízení.
- ❑ Spektrální vlastnosti jsou dány složením polovodiče (GaAs, InP, GaAlP, GaN, SiC,...
- ❑ „Bílé“ LED kombinují diodu emitující v modré oblasti spektra s luminoforem příp. s diodou emitující v dlouhovlnné oblasti.



Srovnání (Nikon D700, 3000K): kompaktní zářivka/halogenová žárovka

