



# Barvy

Vítězslav Otruba

# 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.

# Barevný vjem

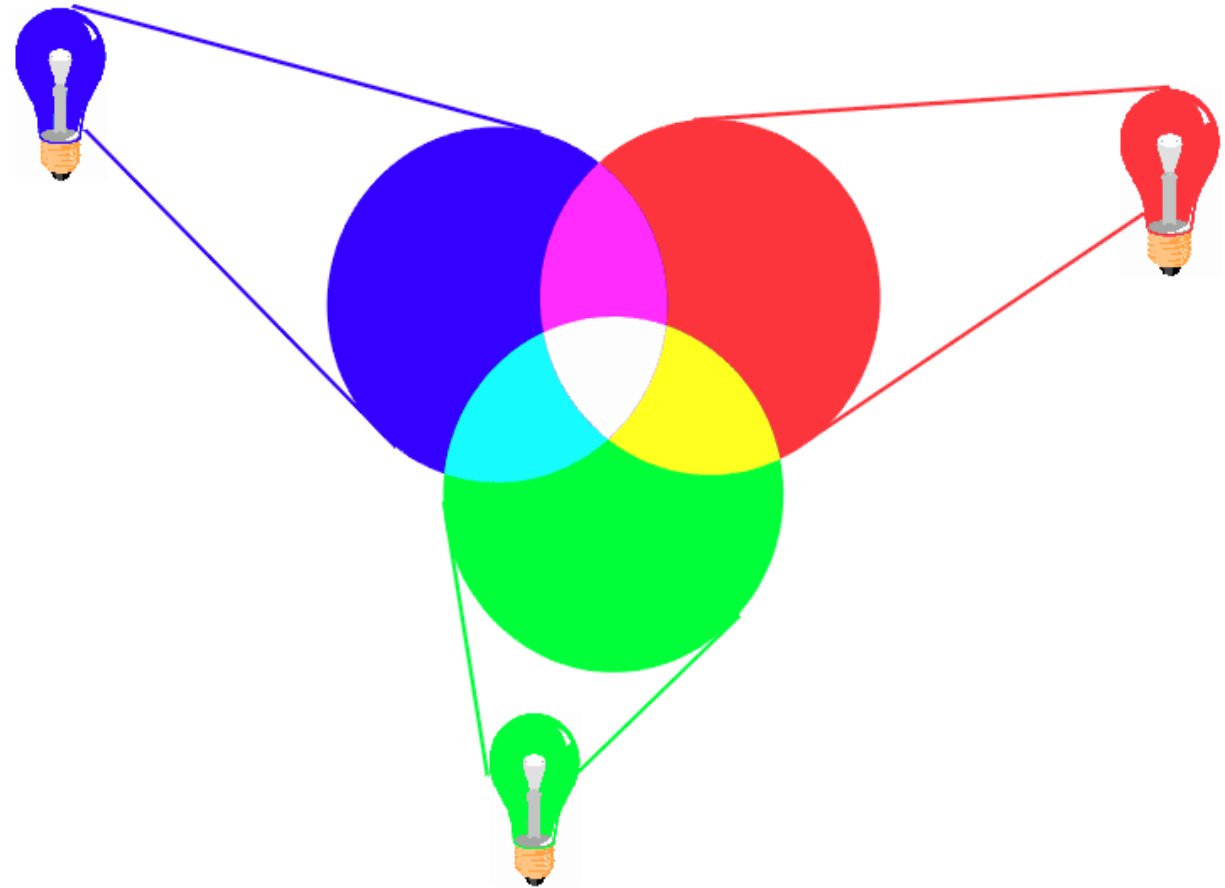
- Grassmanovy zákony (1854) - lidské oko vnímá:
  - dominantní vlnovou délku (odstín, “hue”)
  - čistotu barvy (sytost, “saturation”)
  - intenzitu (jas, “brightness”)

# Skládání světél

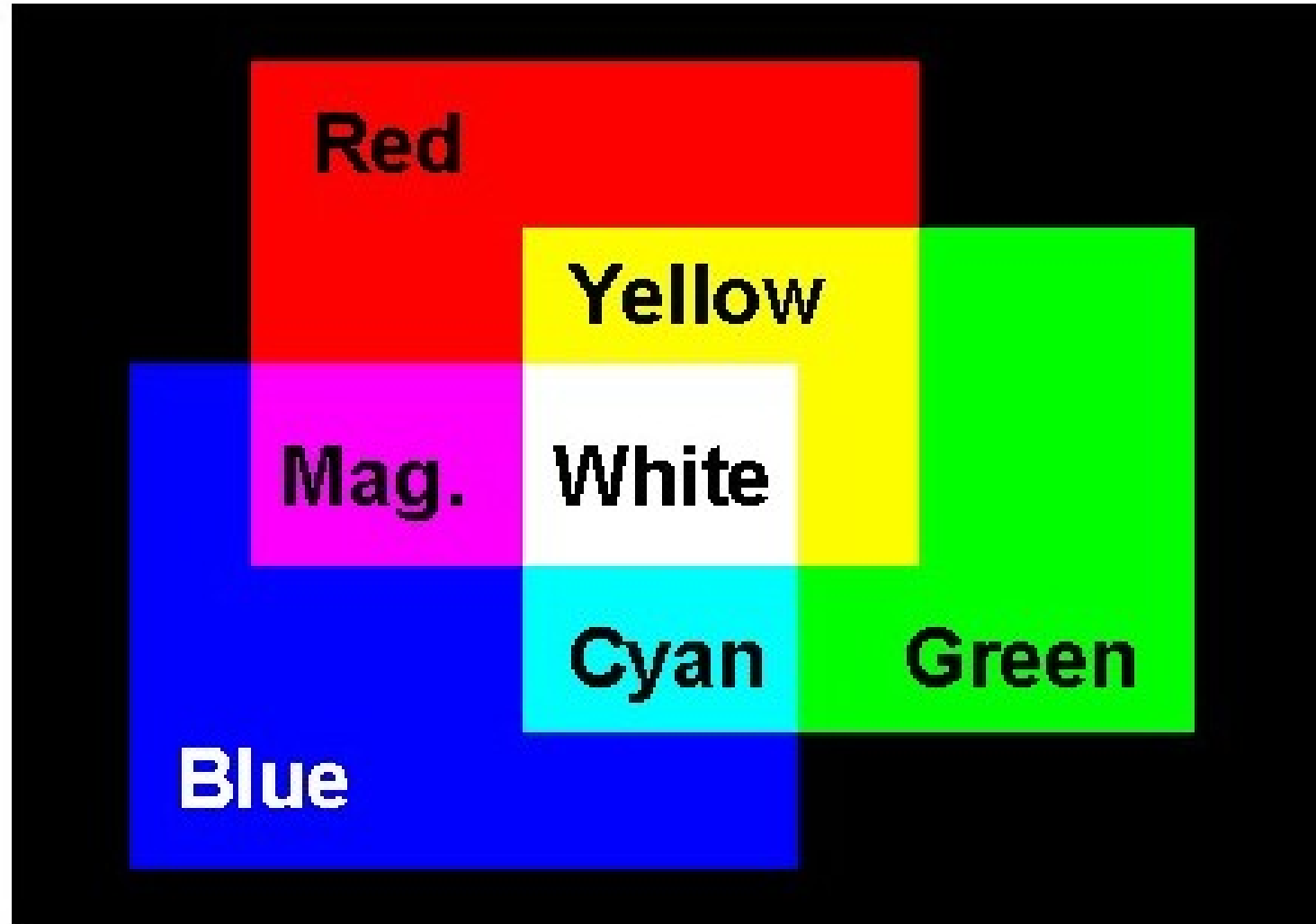
V principu jde o skládání barevných **světél (světelných zdrojů)**:

- Červeného (red)
- Zeleného (green)
- Modrého (blue)

V ideálním případě je spektrální šířka každého světla (světelného zdroje)  $1/3$  viditelného spektra aby výsledná směs – bílé světlo – obsahovalo všechny vlnové délky.



# Aditivní skládání barev (RGB)

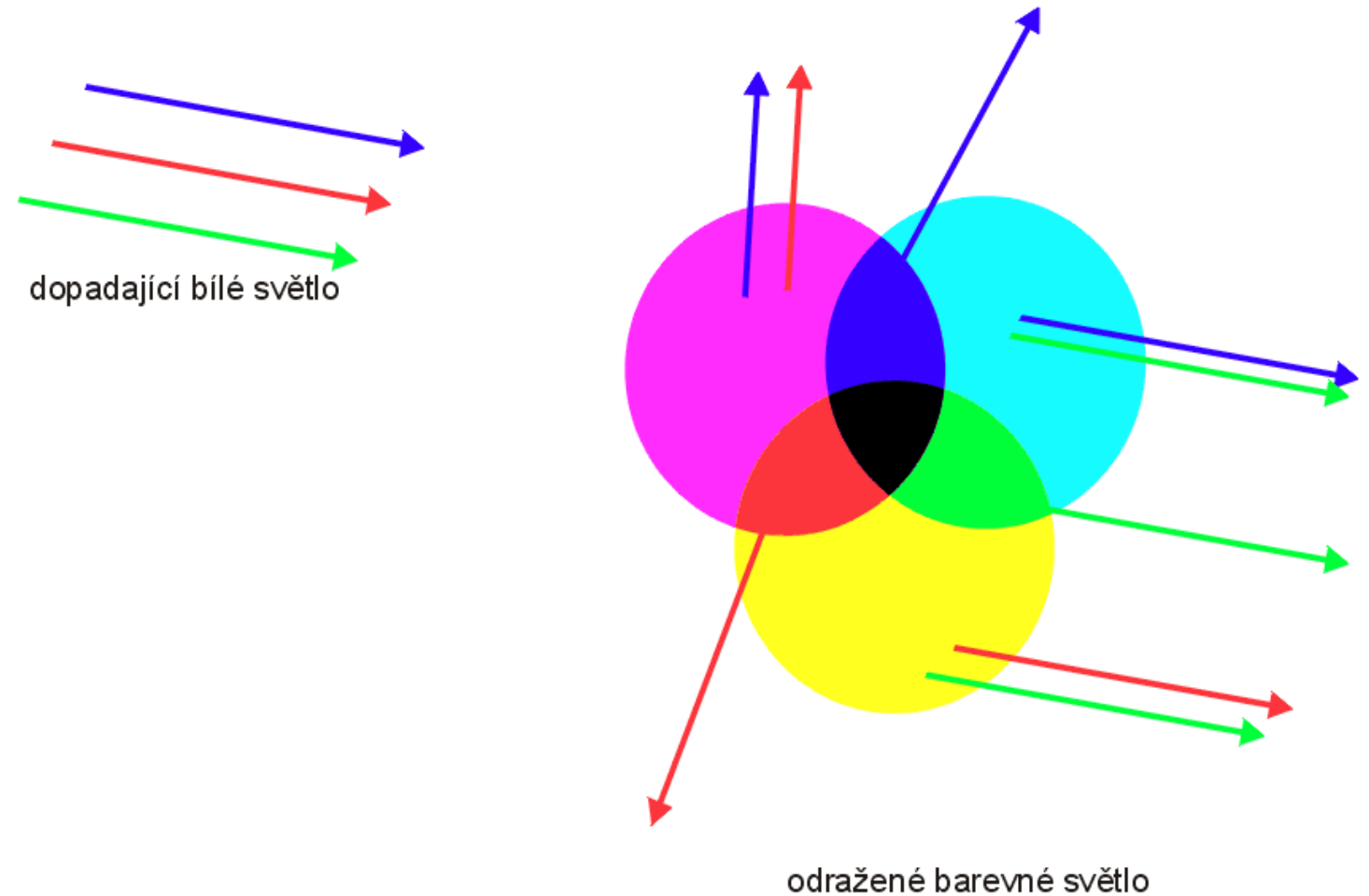


# Skládání barviv

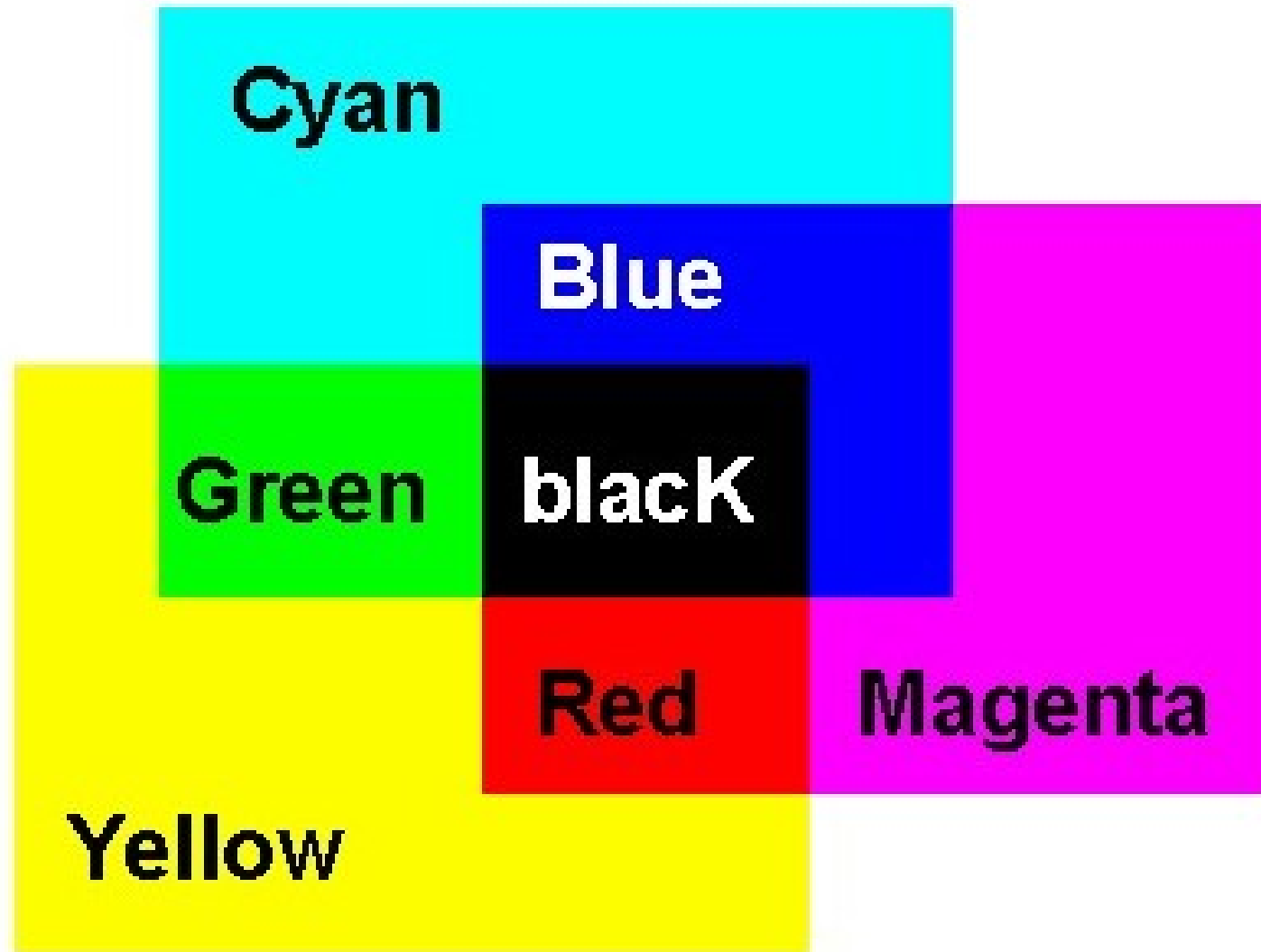
V principu jde o odečítání barevných složek (**absorpcí částí spektra** v pigmentu - barvivu) z bílého světla:

- Purpurová (magenta) absorbuje zelenou
- Azurová (cyan) absorbuje červenou
- Žlutá (yellow) absorbuje modrou

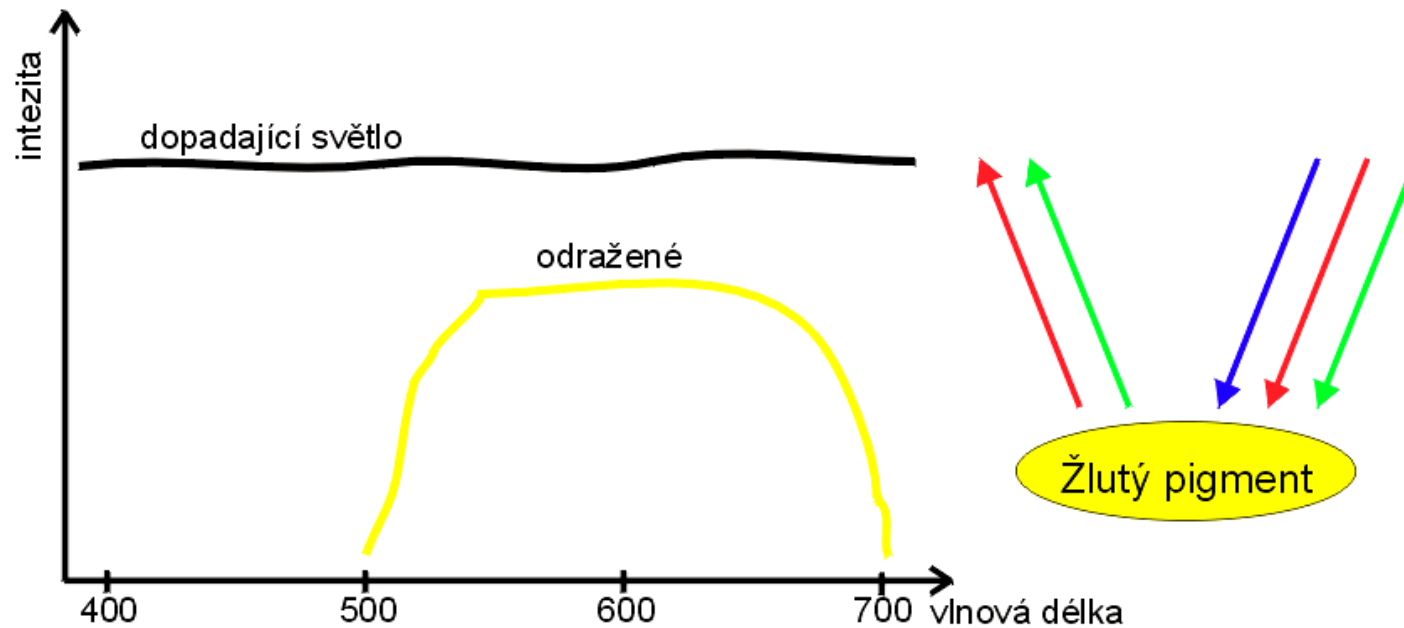
V ideálním případě každé barvivo absorbuje 1/3 viditelného spektra



# Subtraktivní skládání barev (CMY)



# Žlutý barevný pigment





# Barevný vjem

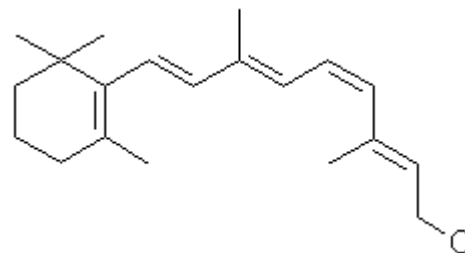
- **Vnímání jasů a barev** Díky sondování celého spektra "jen" třemi druhy čípků se snadno může stát, že dvě nebo i více různých složených spekter je vyhodnoceno okem a mozkiem stejně a to i přesto, že se jedná o dvě zcela rozdílná spektra. Potom se jeví tato rozdílná spektra jako stejná barva a jsou 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.

# 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

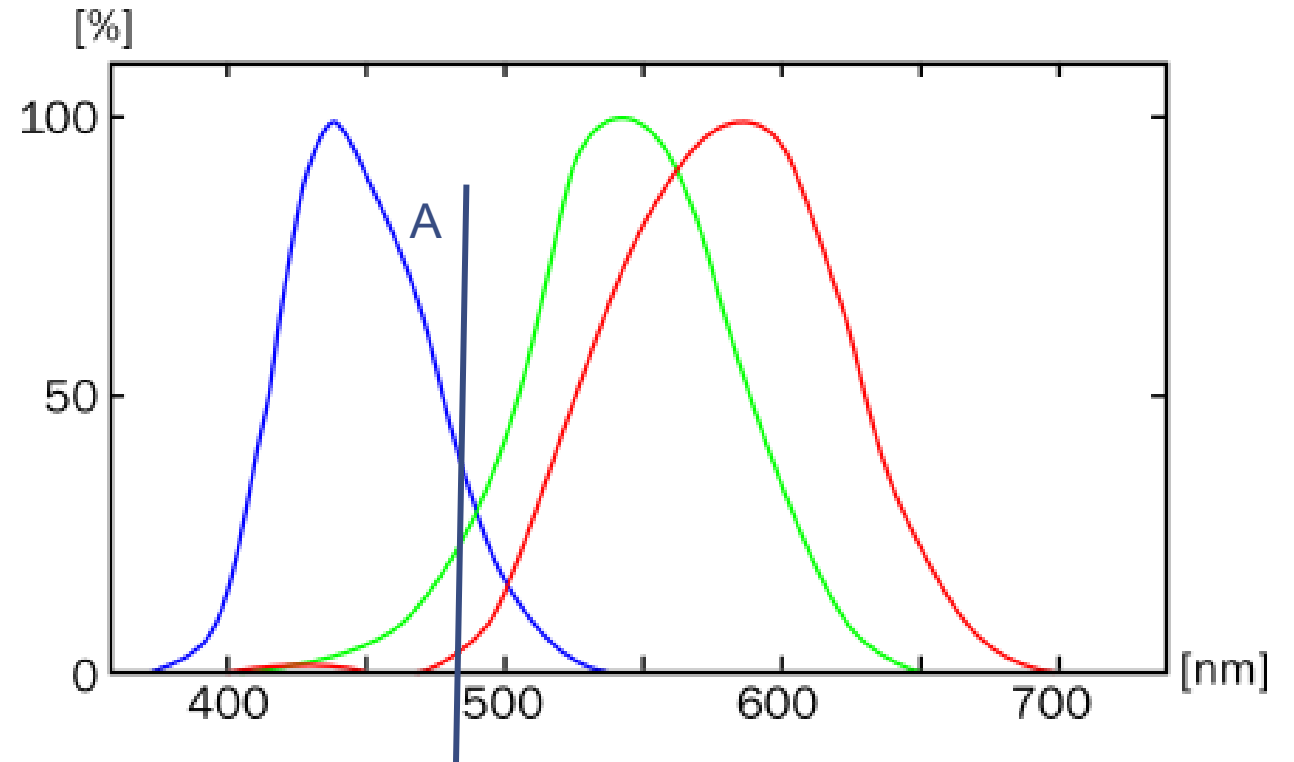
# Vlastnosti systému vidění

- **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”) – psycho-fyziologická vlastnost

# Vnímání barev

Citlivost předpokládaných tří druhů čípků – na vlnovou délku  $\lambda$  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.

Mísením signálů vzniká v mozku informace o barvě. Analýza těchto dat, kdy každá tyčinka a čípek říká něco jiného, odpovídá výpočetnímu výkonu, na který se nehrabe žádná grafická karta na světě!



Spektrální profil citlivosti lidského oka. Tyto křivky byly naměřeny nepřímými metodami a neodpovídají přesně absorpčním spektrům barviv izolovaných z oční sítnice - spektrální citlivost jednotlivých receptorů se **částečně překrývá**

# 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**

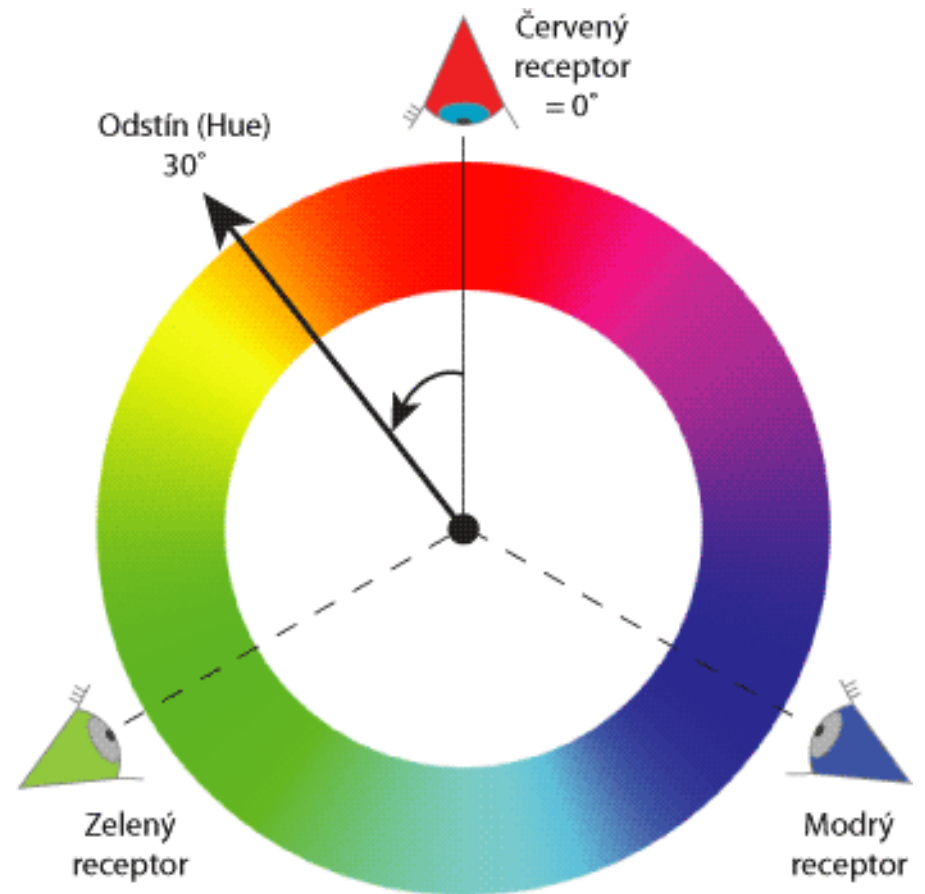
# Barevný tón, sytost

- Dvě nebo více monochromatických světél tvoří **směs**, jejíž **barevný tón** je shodný s tónem určitého monochromatického světla, ale **sytost** směsi je vždy menší.
- Směs několika monochromatických světél 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.

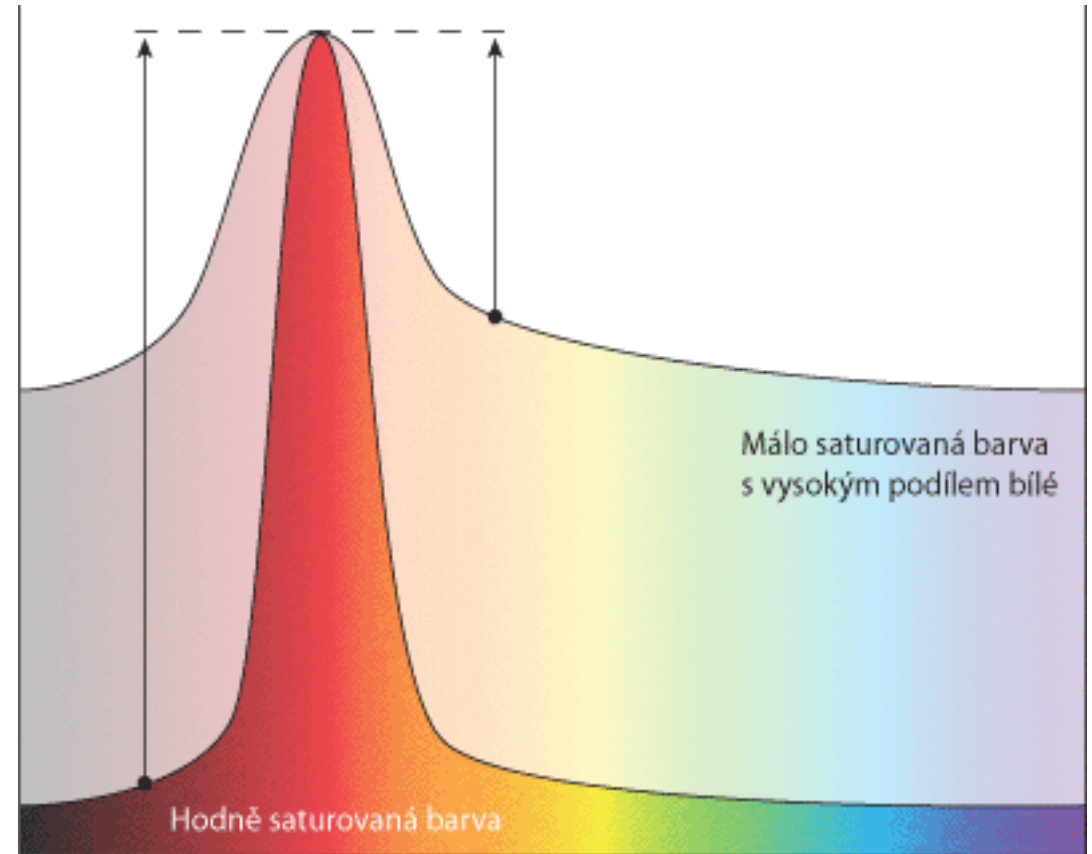
Odstín je tedy to, co má většinou běžná jména, jako "červená", "modrá", "žlutá" atd. Současné RGB modely přiřadily úhlu  $0^\circ$  barvu červenou, úhlu  $120^\circ$  barvu zelenou a úhlu  $240^\circ$  barvu modrou.





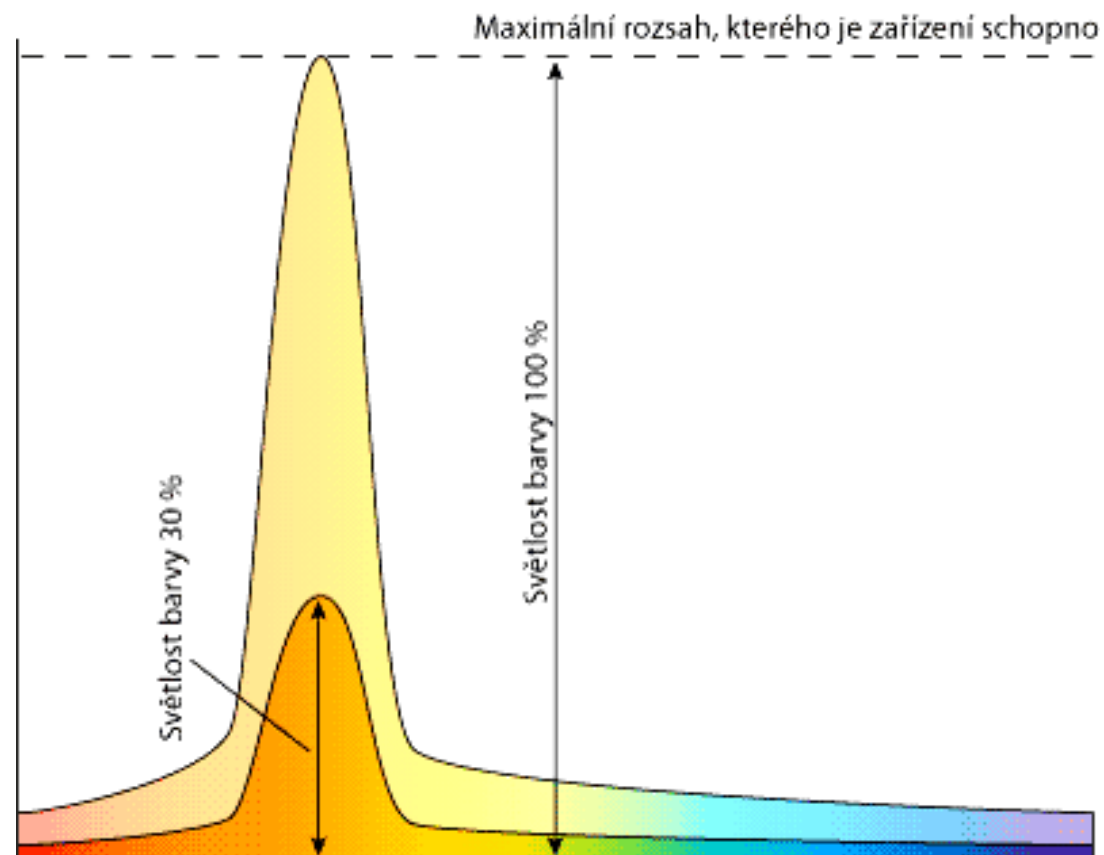
# Sytost barvy (saturation)

- 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
- sytá barva neobsahuje **příměs šedé** (černé a bílé)



# Světlost barvy (lightness)

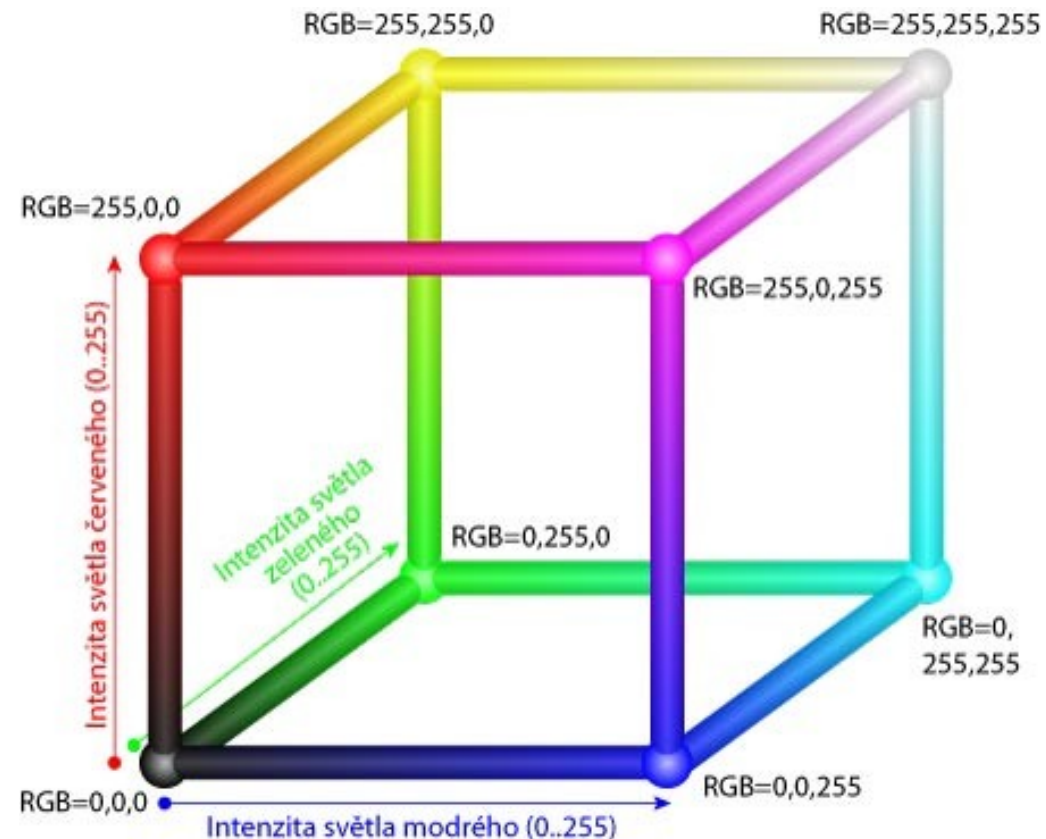
- Světlost barvy vyjadřuje, jak moc světlá se barva jeví, a označuje se často slovy jako "světle modrá", "tmavě červená" atp.
- Udává se opět v %
- **100 %** - zcela **bílá** a označuje maximální jas, kterého je zařízení schopno.
- **0 %** = **černá**, čili zcela tmavý (černý) bod.



# Barevný model RGB

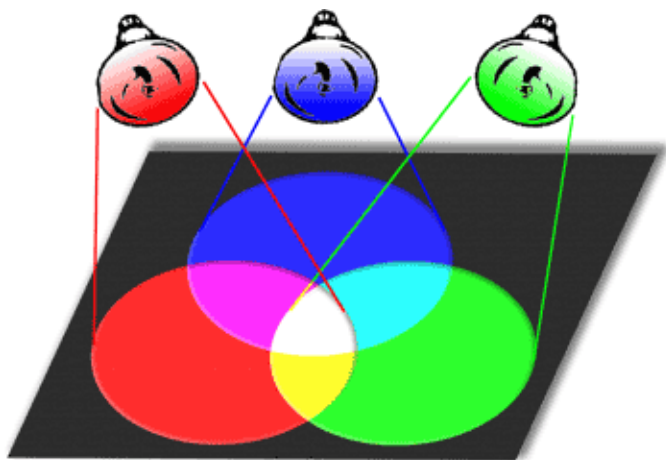
RGB model lze zobrazit jako krychli, kde jednotlivé x, y, z osy odpovídají modrému, červenému a zelenému světlu. Na úhlopříčce krychle je potom stav, kdy všechna tři světla svítí na maximum, tedy vytvoří bílou.

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 trochy červené. Modrá složka v barvě pole i květu téměř chybí (je hodně tmavá).



2017

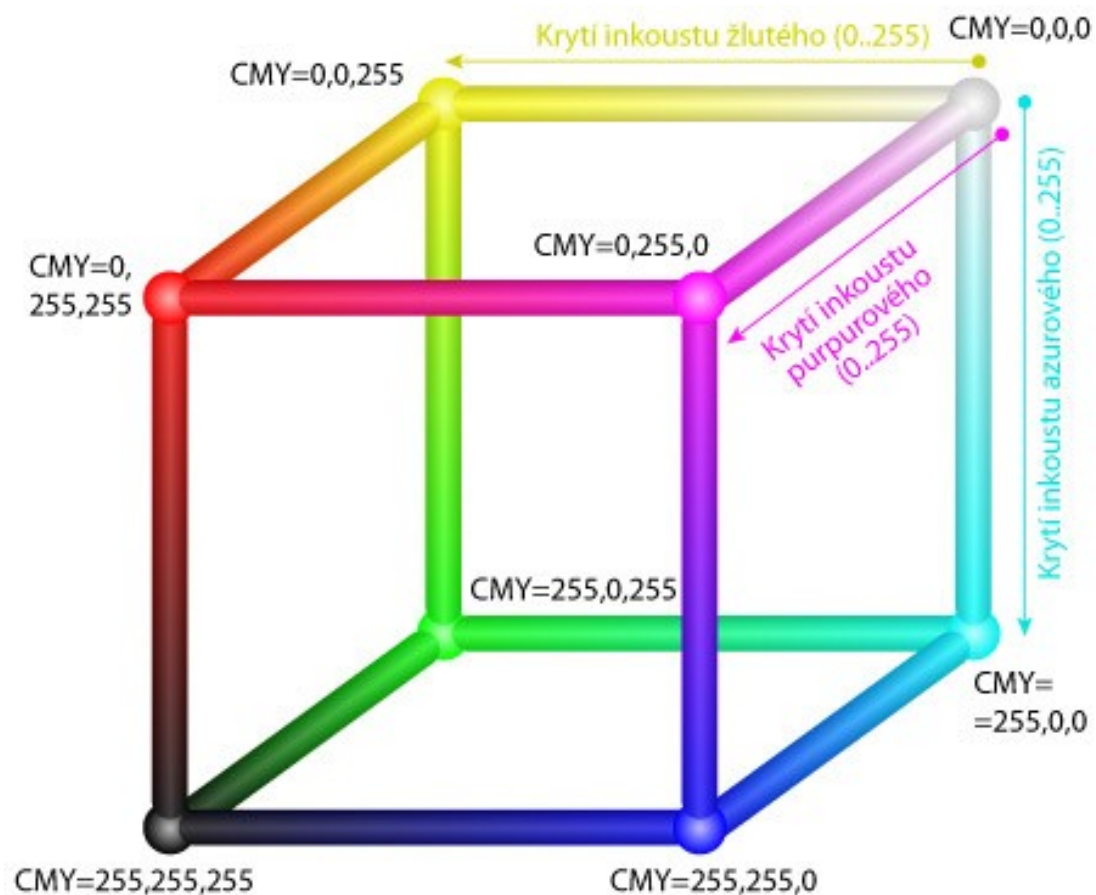


prof. Otruba

20

# Barevný model CMY

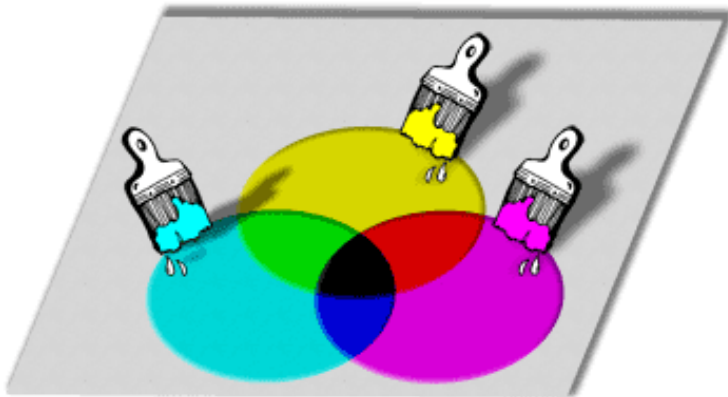
CMY model je teoreticky inverzní k modelu RGB. Lze ho tedy popsat stejnou krychlí, ale s výchozím bodem v bílé barvě (vpravo nahoře) a s barvivy (inkousty) doplňkovými k barvám RGB, tedy CMY. Reálná barviva mají jinou barvu než přesné doplňkové barvy k RGB.





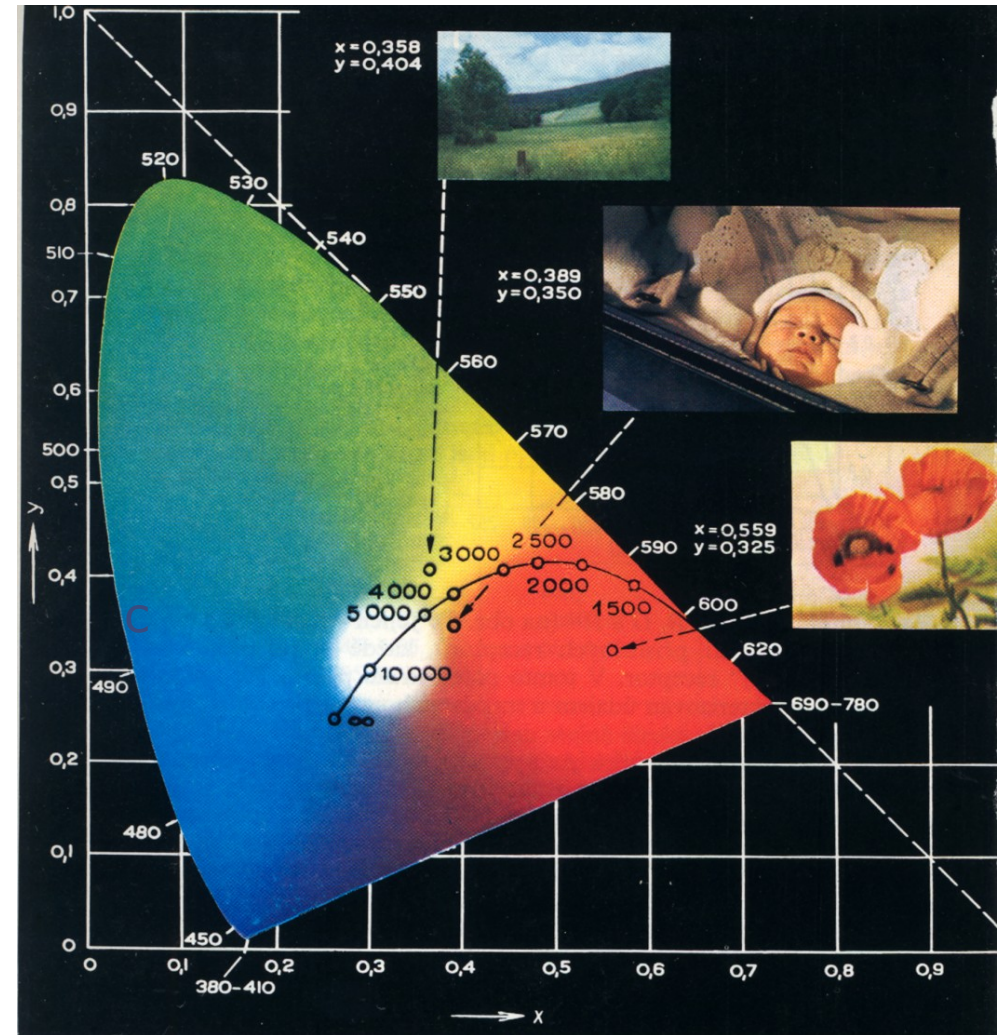
# CMY obraz a jeho CMY složky

CMY model je subtraktivní model, tedy založený na odčítání RGB barev při odrazu bílého světla od barviv. Přidáním všech barviv naplno se vytvoří černá barva, neboli všechno světlo je pohlceno.



# Diagram chromatičnosti CIE

Obvod podkovy vyznačuje polohu monochromatických (**syťých**) 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**.



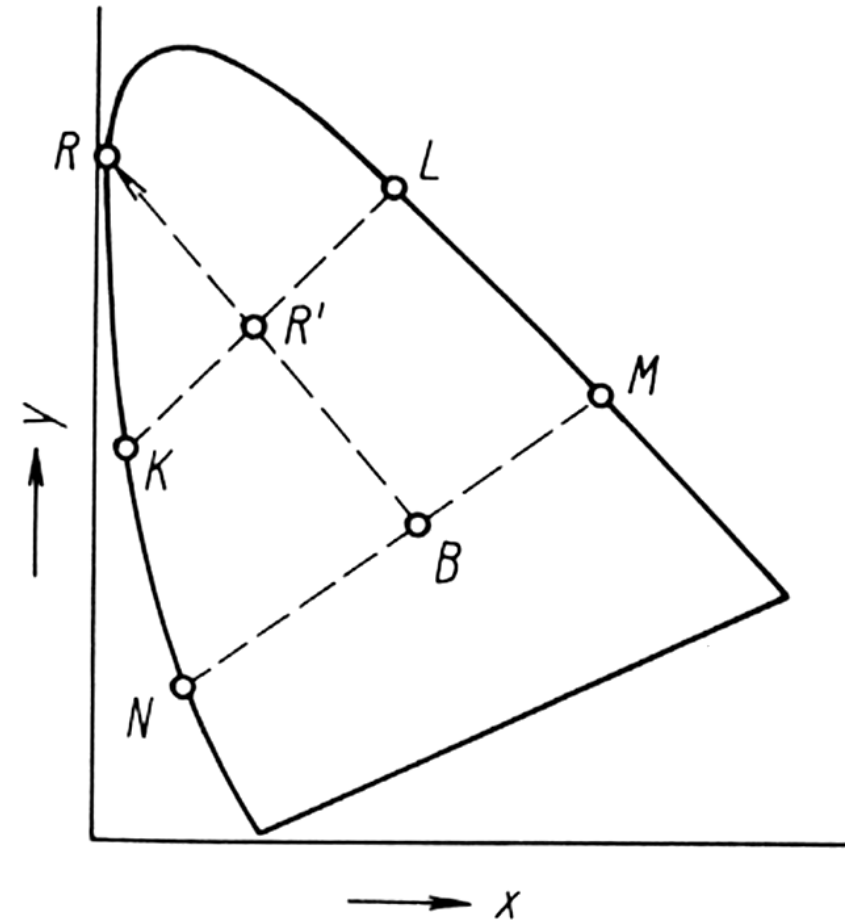
# Vlastnosti CIE diagramu

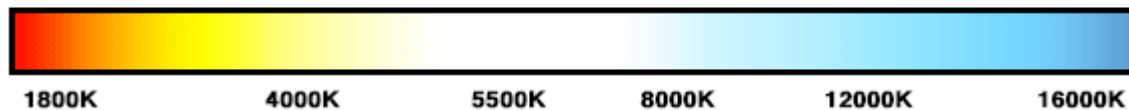
- všechny viditelné barvy jsou uvnitř podkovy
- intenzita (světlost) barev je ignorována, dvě barvy se shodným tónem a sytostí se promítají do stejného bodu diagramu
- spektrální (monochromatické) barvy leží na křivkovém okraji podkovy
- úsečka mezi modrou a červenou barvou je „**purpurová čára**“
- 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

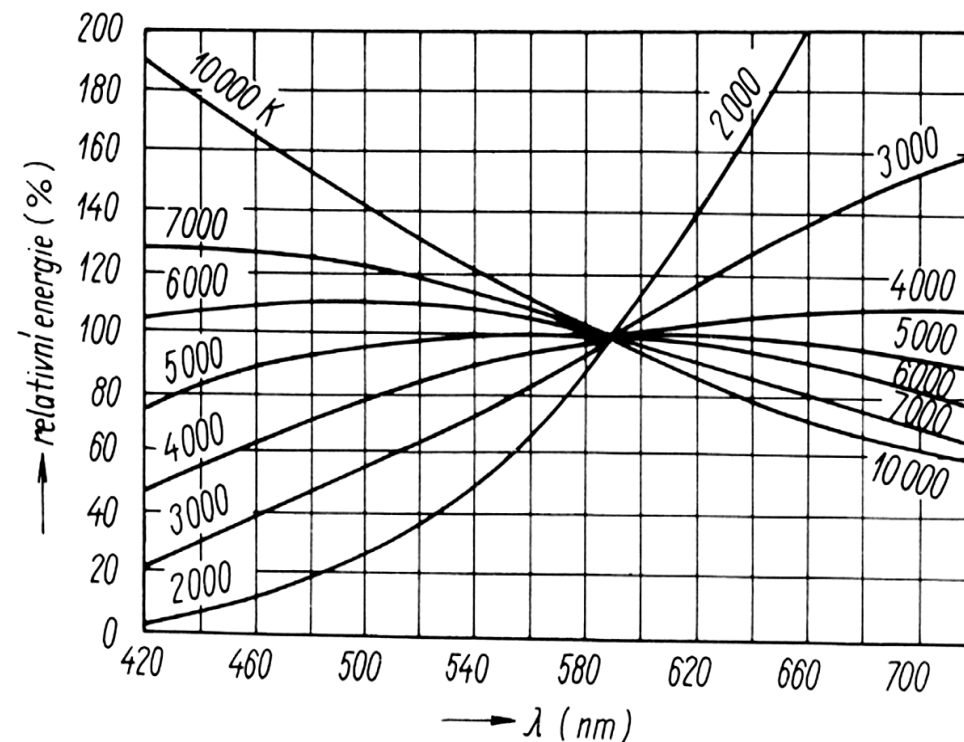
- Směs světel K a L leží na spojnici KL. **Barevný tón** odpovídající směsi např. v  $R'$  odpovídá průsečíku spojnice  $R'$  a B s podkovou. Směs dvou spektrálních světel je vždy **méně sytá** než základní složky.
- Barvy dávající smísením bílou (M, N) jsou **doplňkové**.





# Teplota chromatičnosti

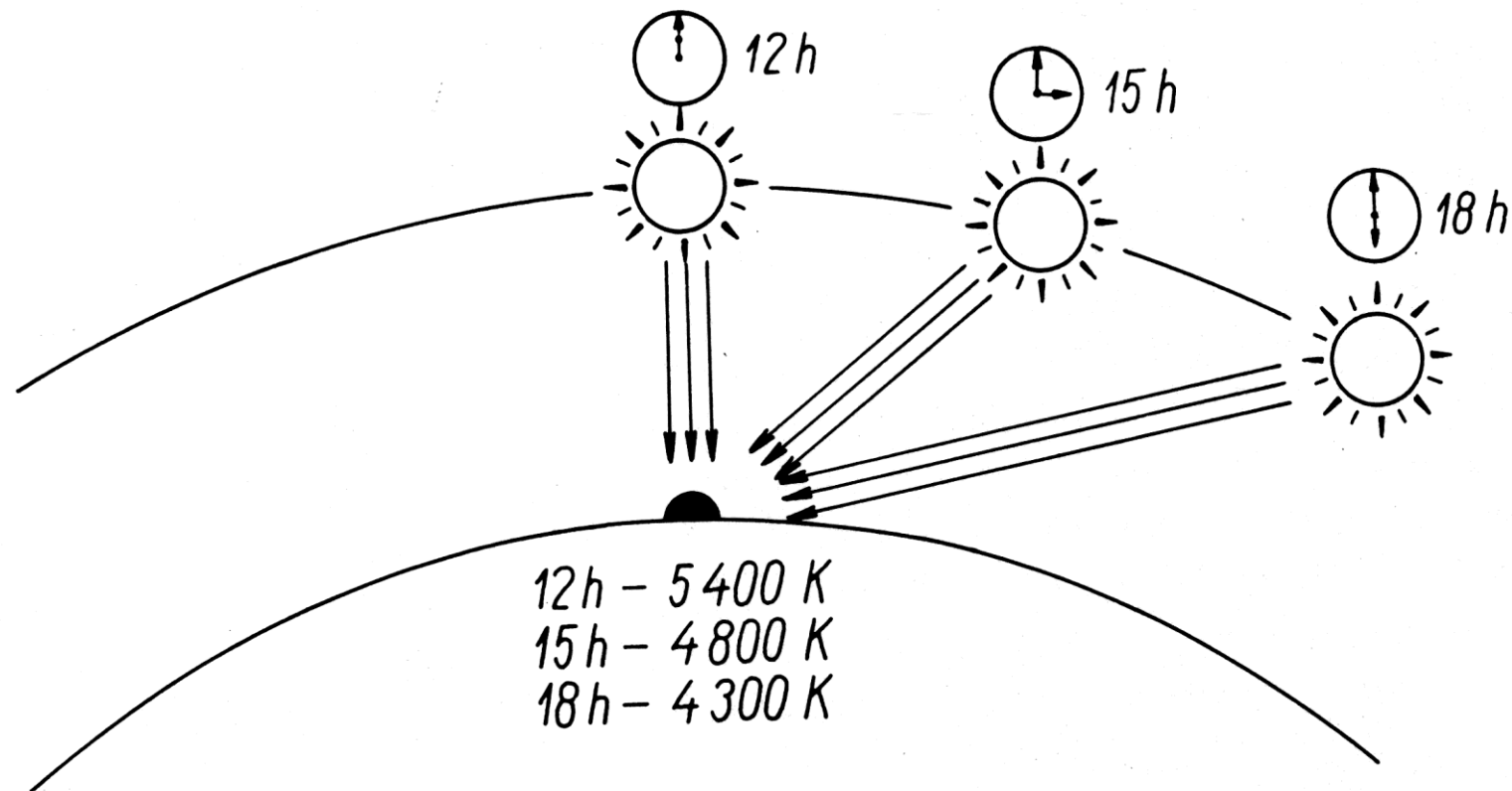
- Barevná teplota charakterizuje **spektrum bílého světla**. Světlo určité barevné teploty má barvu **tepelného záření** vydávané **černým tělesem**, zahřátým na tuto teplotu.
- Člověk své vnímání barev přizpůsobuje světlu – **bílý** papír vnímá jako bílý, i když je vlivem osvětlení zabarvený. Fotoaparáty 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



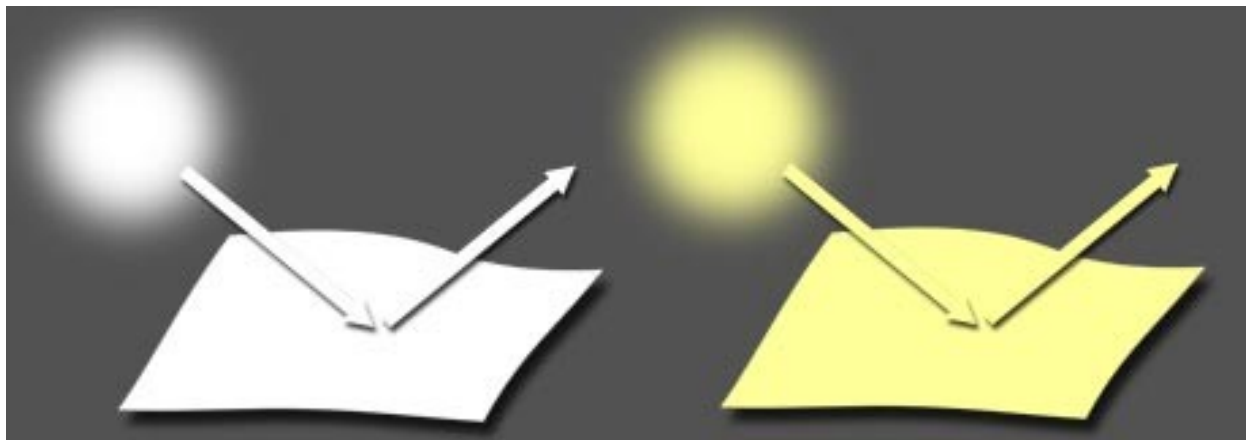
Rozložení energie ve spektru absolutně černého tělesa

# Teplota chromatičnosti

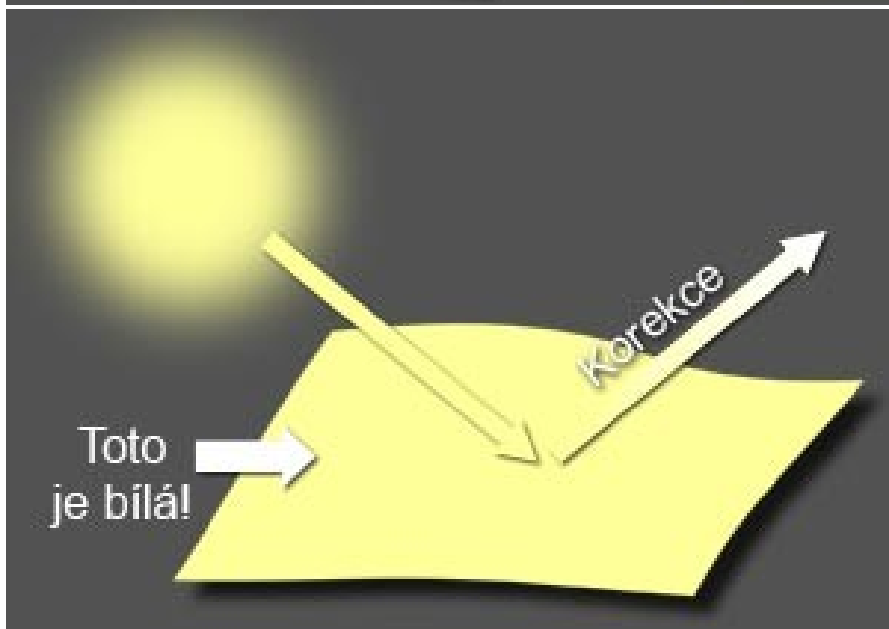
- Vliv různé polohy slunce během dne na teplotu chromatičnosti



# Teplota chromatičnosti



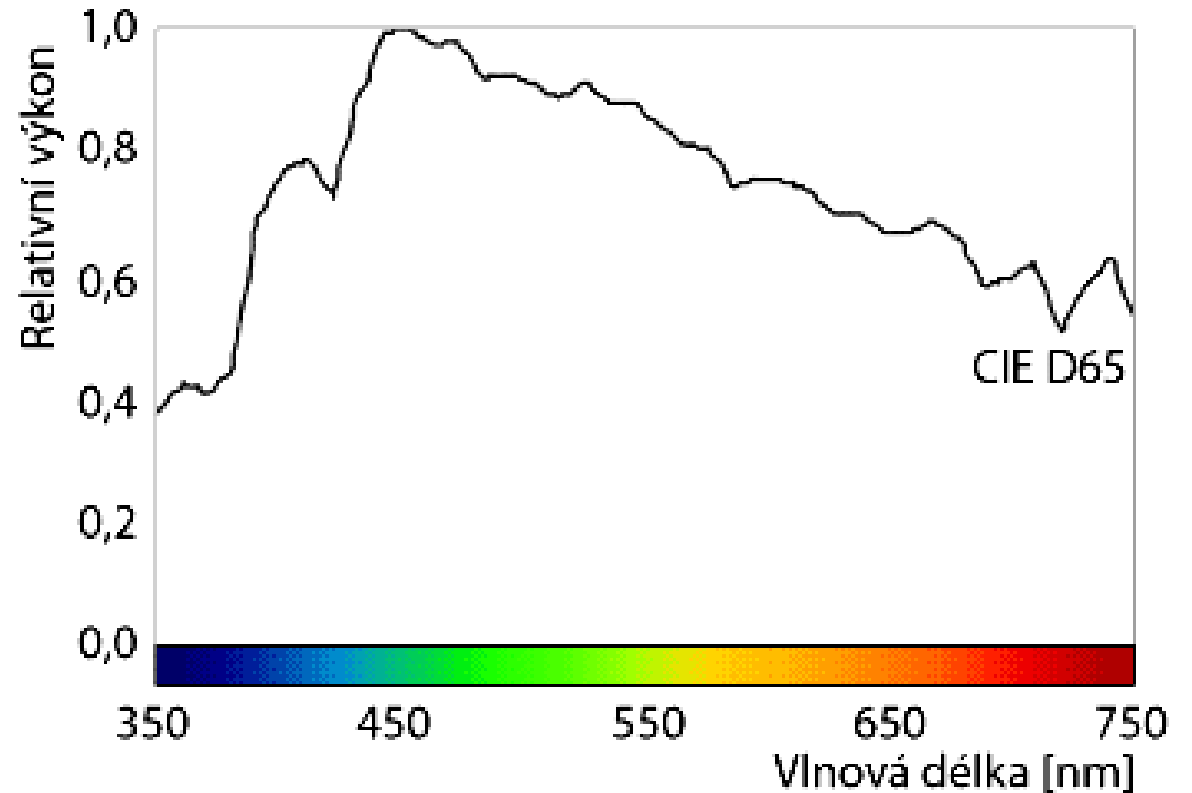
Bílý papír není bílý. Má vždy barvu světla, které na něj svítí



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

# Bílé světlo

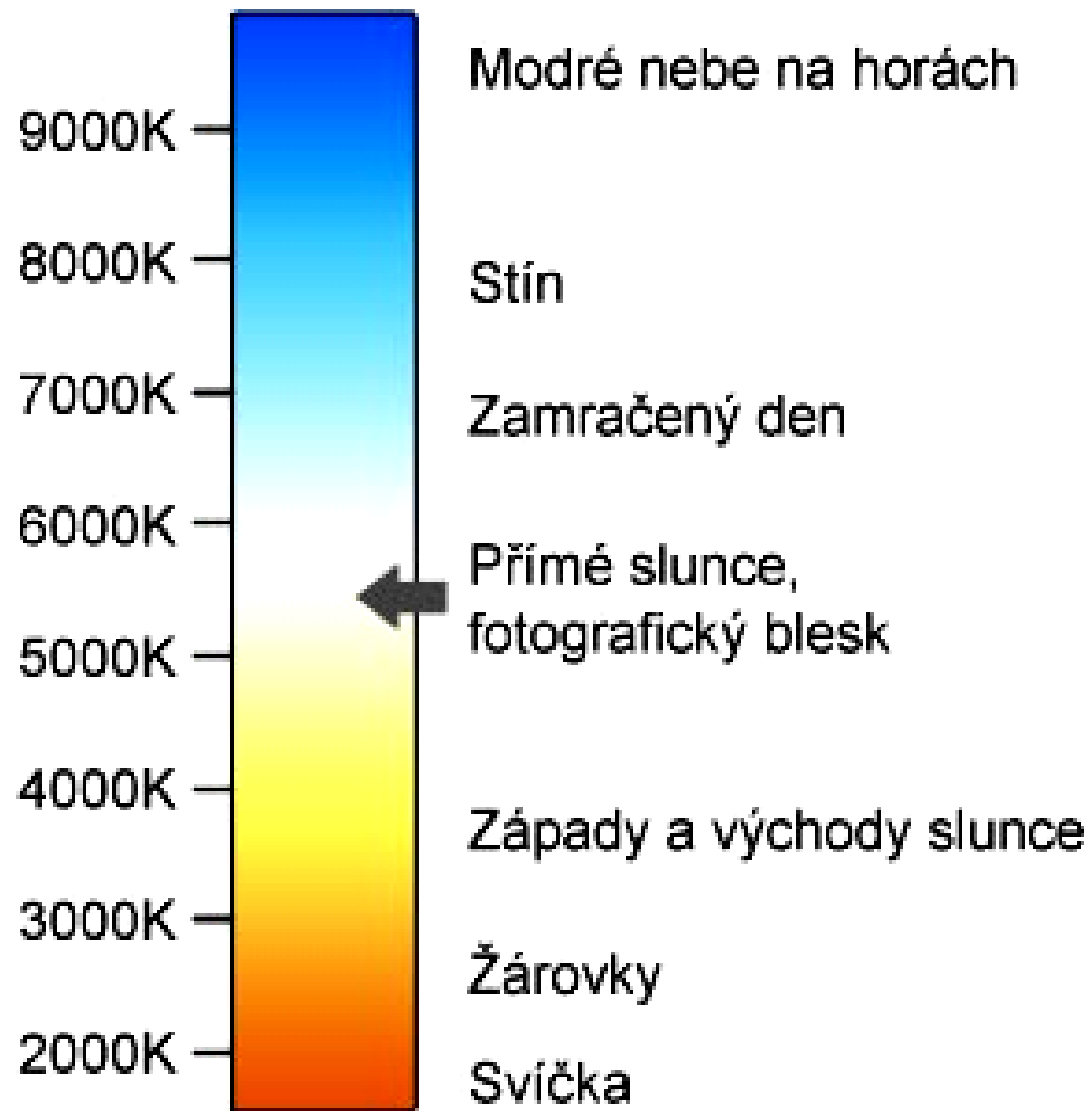
- Za bílou v lidském slova smyslu lze považovat takové světlo, které dráždí všechny tři druhy barvocitlivých receptorů oka stejně. Bílá je tak velmi subjektivní záležitost (jako vše související s viděním), a proto byly vytvořeny standardy pro bílou.



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

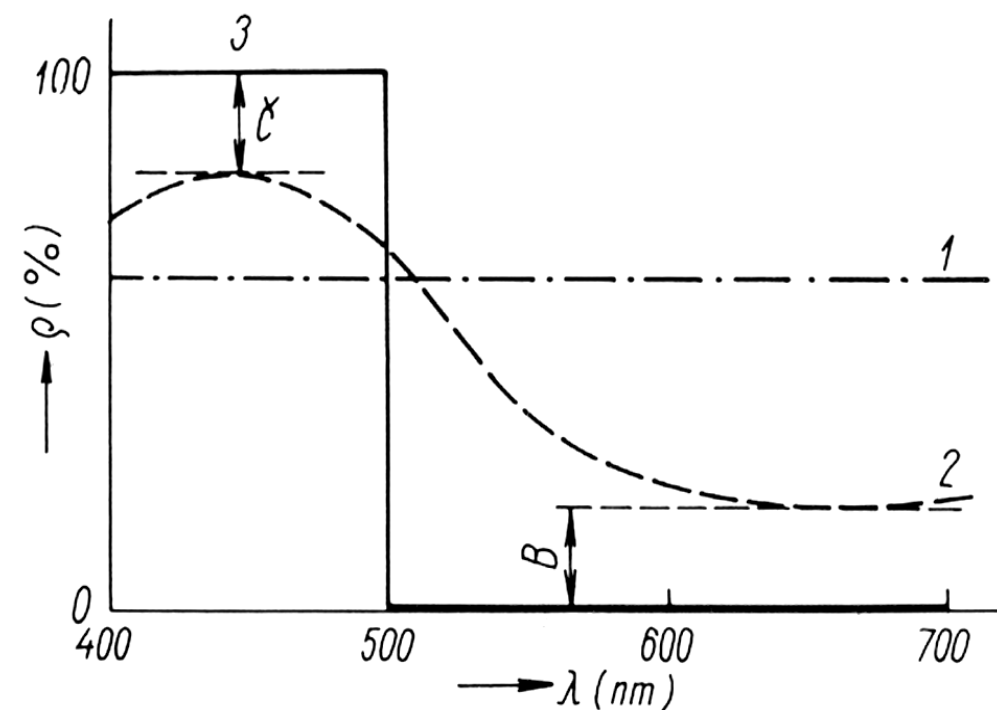
# Barva typických světel

Teplota 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)



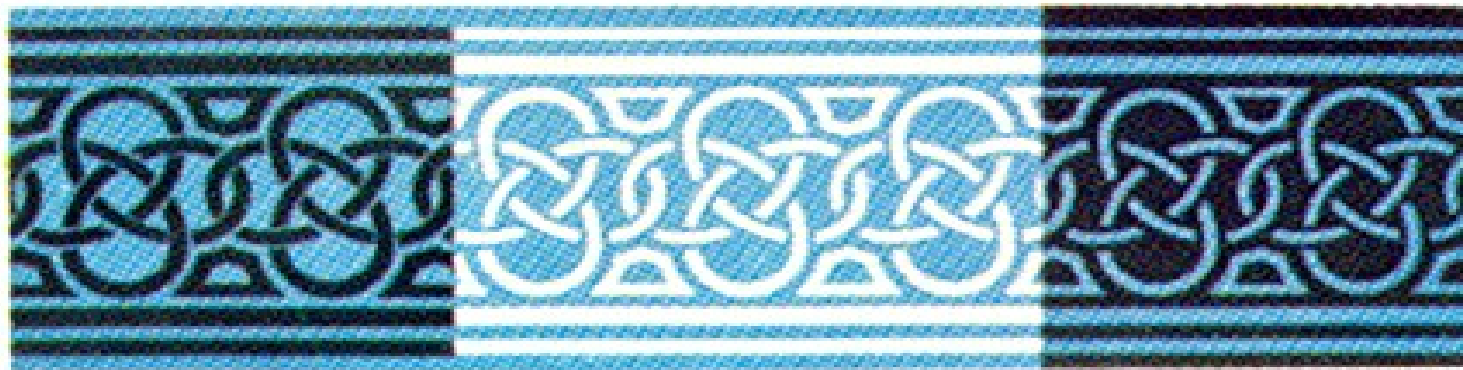
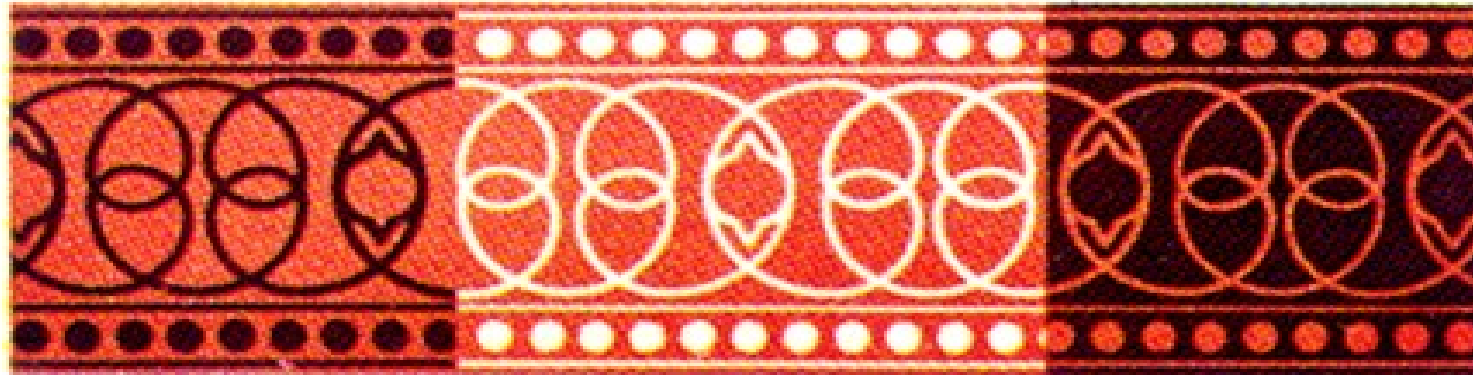
# Barvy předmětů

- 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

# Soudobý kontrast

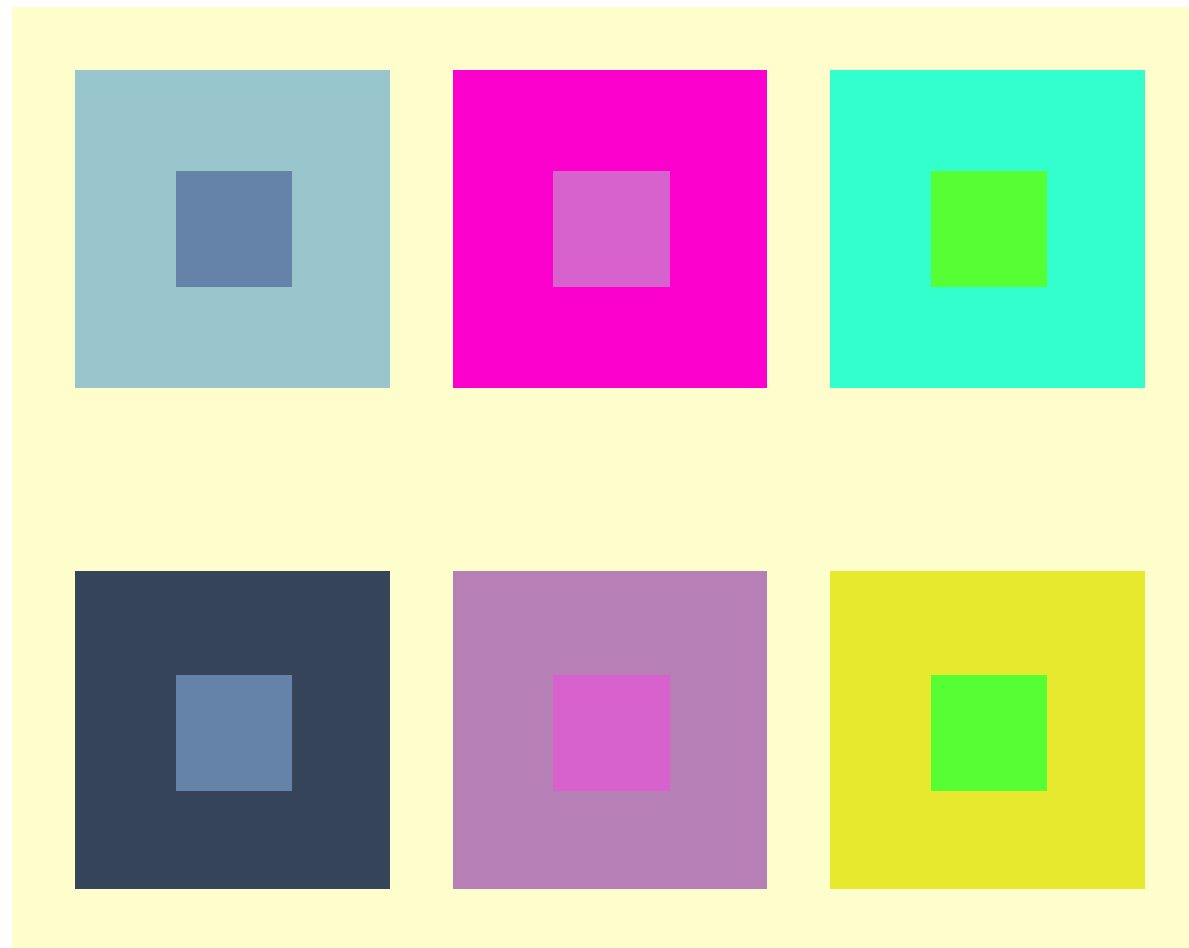


Vliv sousedství černé a bílé na zdánlivou světlost a sytost barvy  
(podle Evanse)

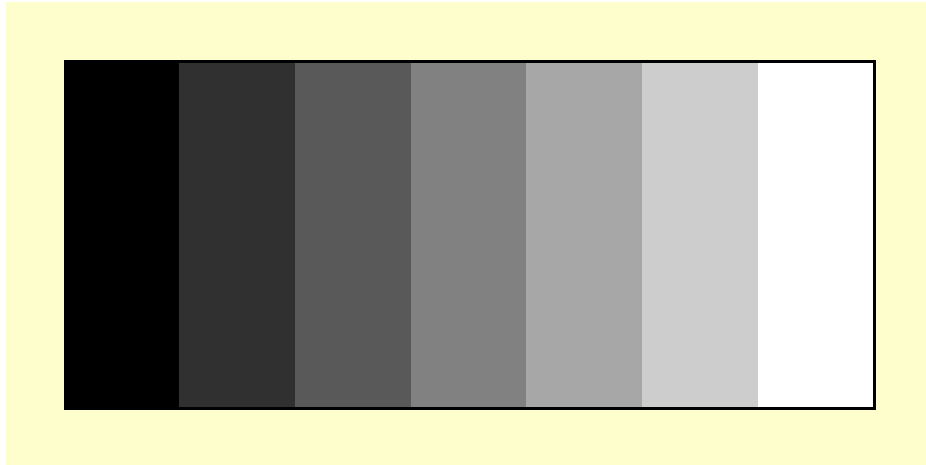


# Simultánní kontrast

Velké čtverce v dvojici nad sebou se navzájem barevně liší jasnem (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.

Na druhém obrázku Střední pruh je v celé své délce stejně šedý - většina z vás ho ale uvidí jako přechod od světle šedé (vlevo) do tmavší šedé (vpravo). Je to vliv okolní plochy.

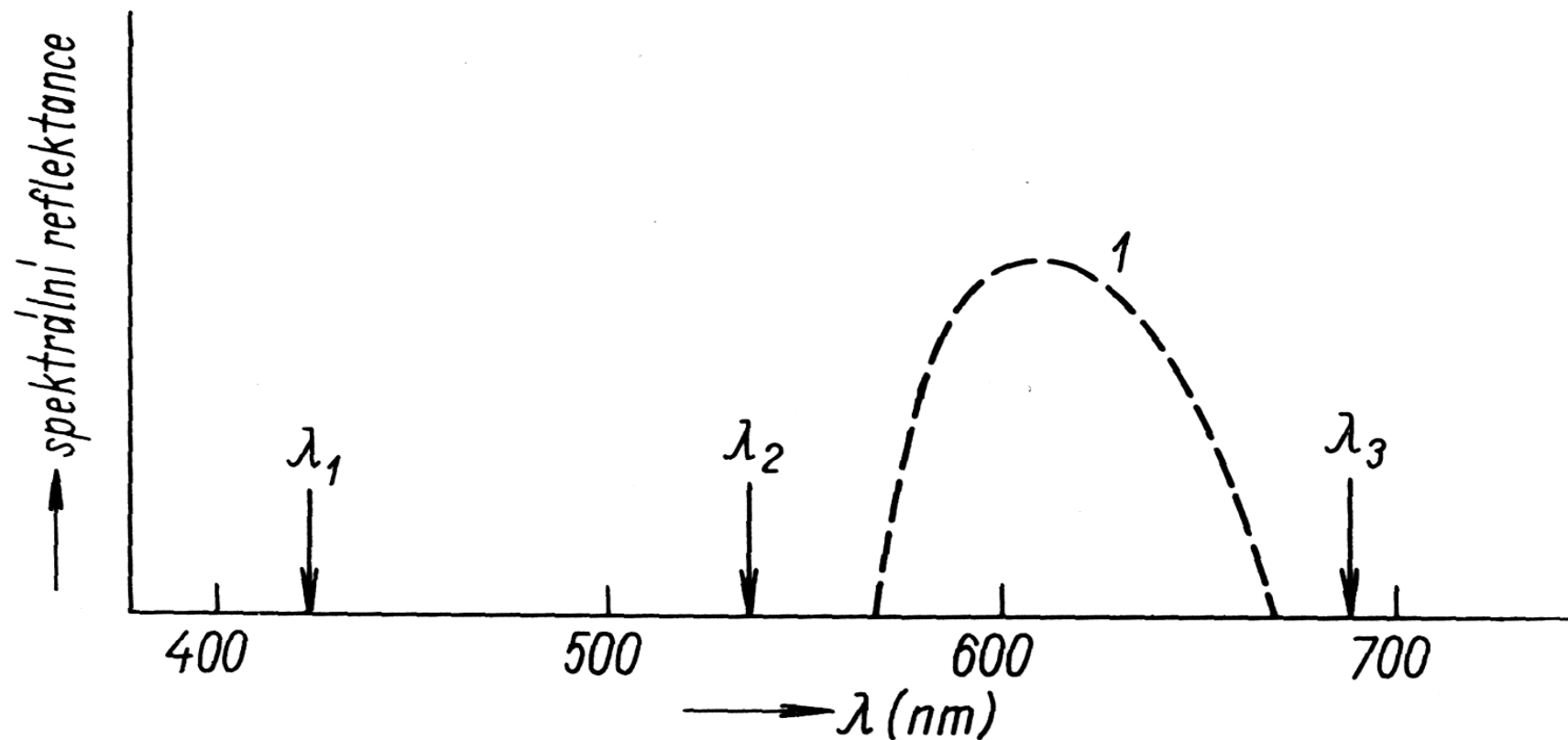
# „Přecházení zraku“



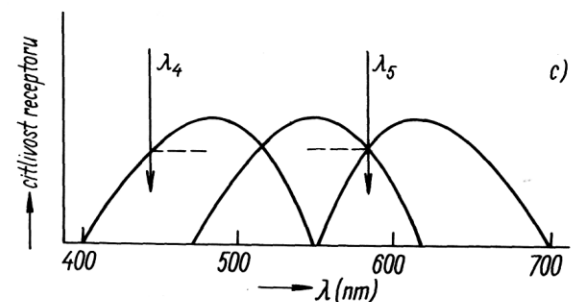
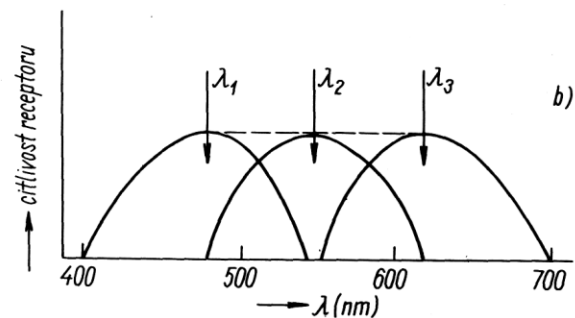
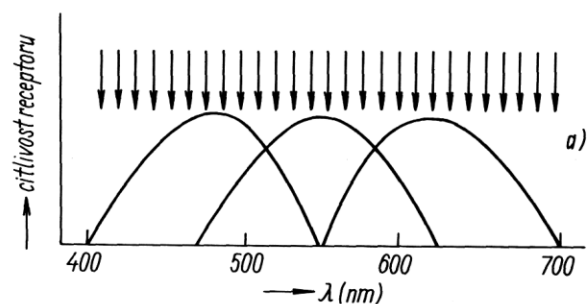
Rozhraní červené a modré barvy se jeví jako neklidné (podle Evanse). Je to způsobeno přeastřováním oční čočky podle ohniska příslušné barvy – barevná vada oční čočky

# Vliv spektrálního složení světla

- Křivka spektrální reflektance plochy, která se jeví ve světle složeném z vlnových délek  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  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  $\lambda_4$ ,  $\lambda_5$ .

- 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)

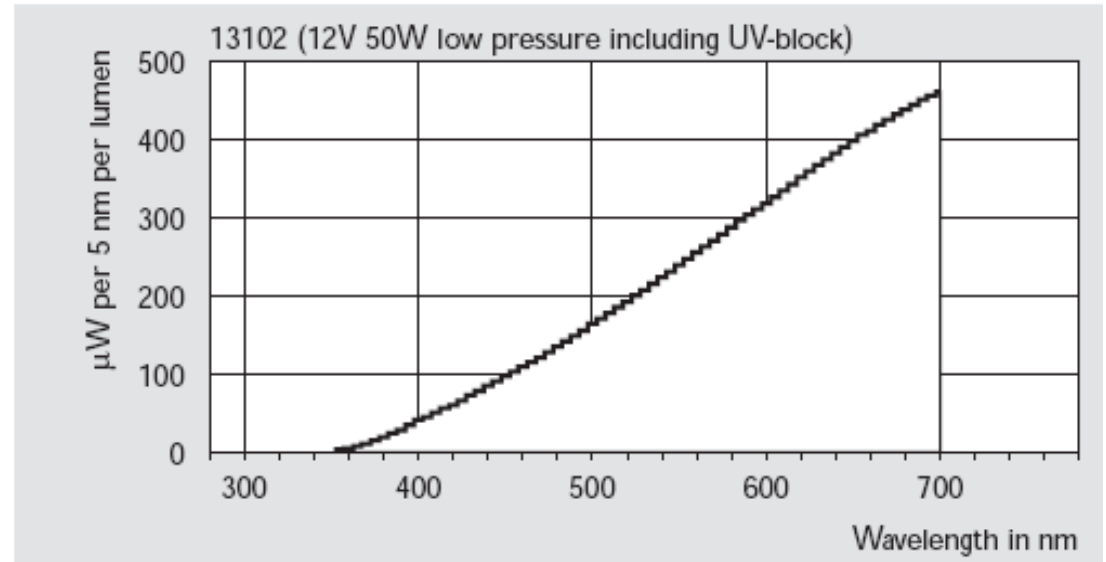
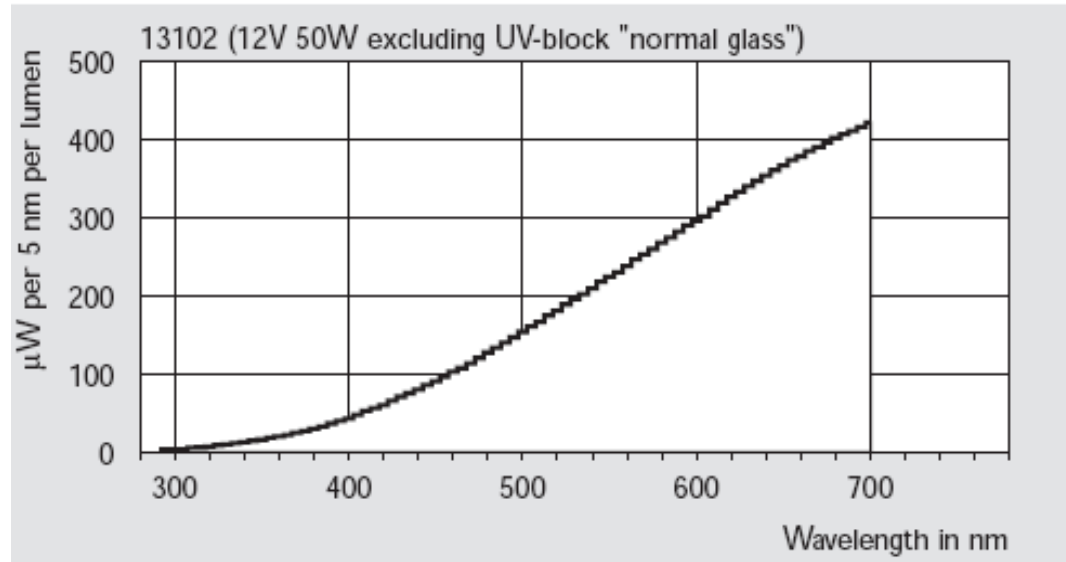
# Kde používat produkty s vyšší hodnotou CRI(Ra)?



- laboratoře, kontrolní a řídicí místnosti, operační sály, ordinace, zubní laboratoře, grafické studia, video studia, dílny, pracovny, montážní haly.
- Oblasti vhodné na přesnou reprodukci barev
  - kulturní prostory (galerie, výstavy, prezentace, muzea apod.)
  - relaxační prostory (sauny, bazény, fitness, restaurace, solné jeskyně apod.)



# Žárovky (CRI = 100)



Nízkonapěťové halogenové žárovky Philips CAPSULEline Pro  
CRI = 100

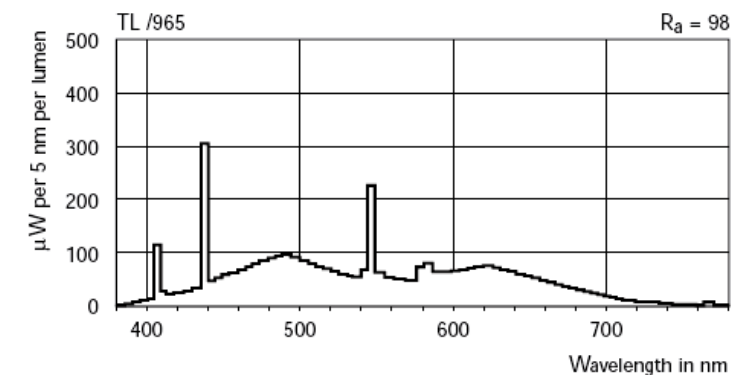
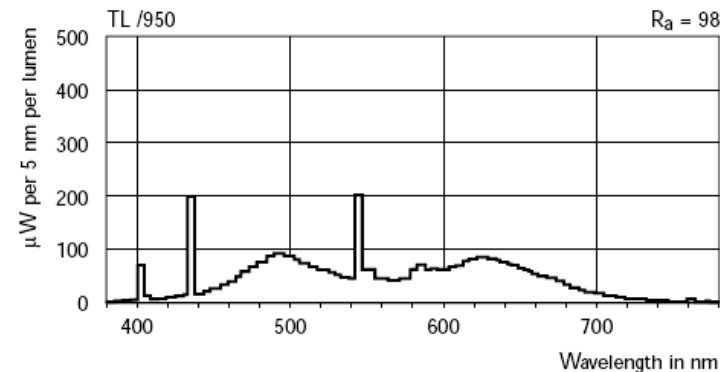
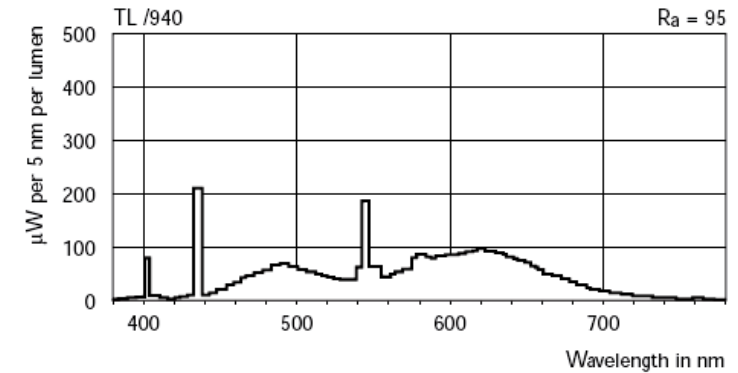
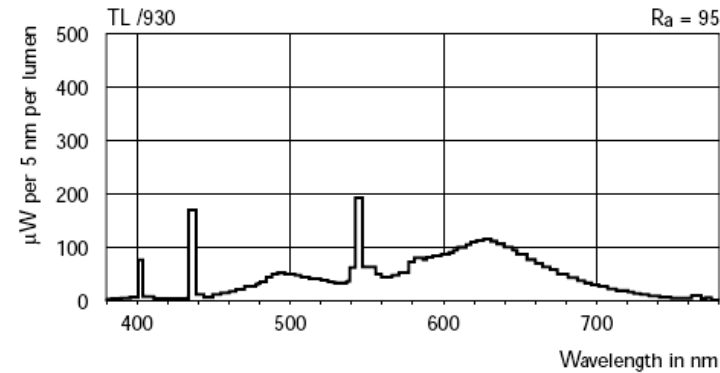
Barevné korekce na teplotu chromatičnosti 5500 K barevné folie (např. IFF Florencie,  
Kodak Rochester)

# Zářivky s vysokým CRI (>90)

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

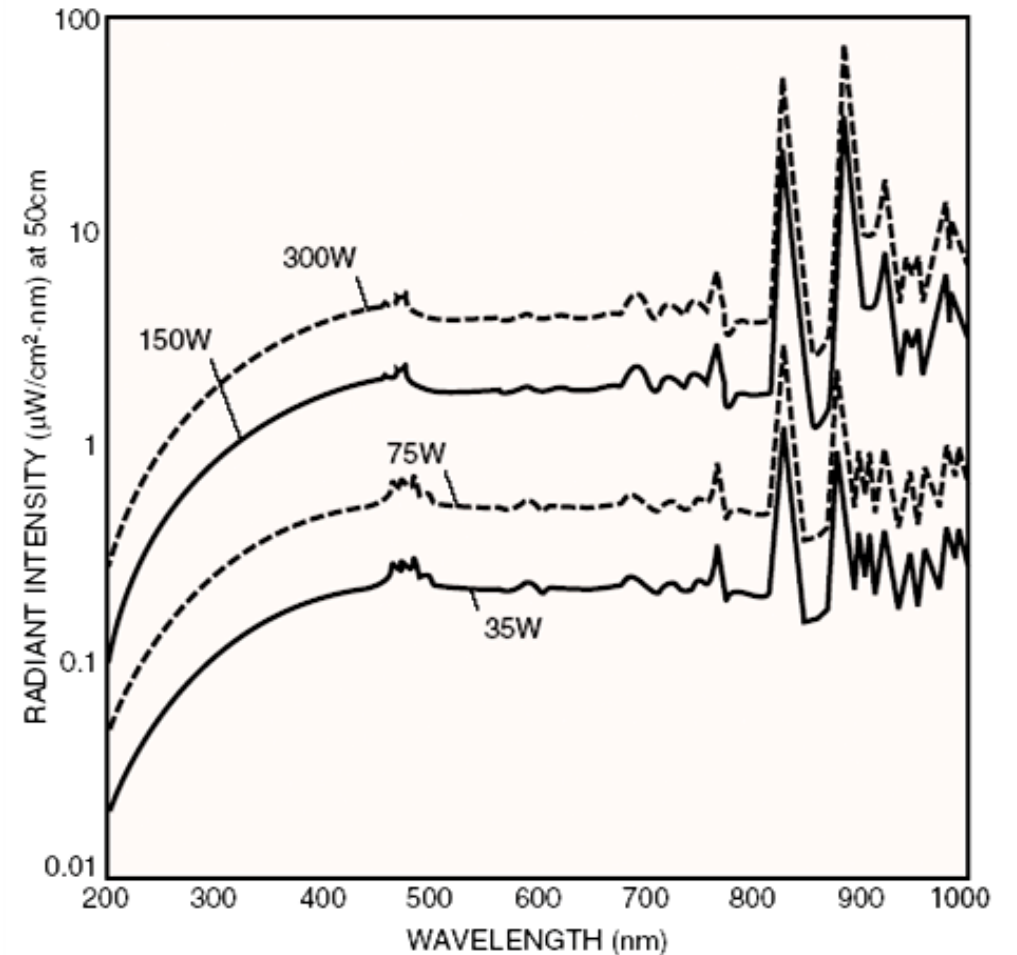
## Fluorescent lamps

TL-D 90 de Luxe



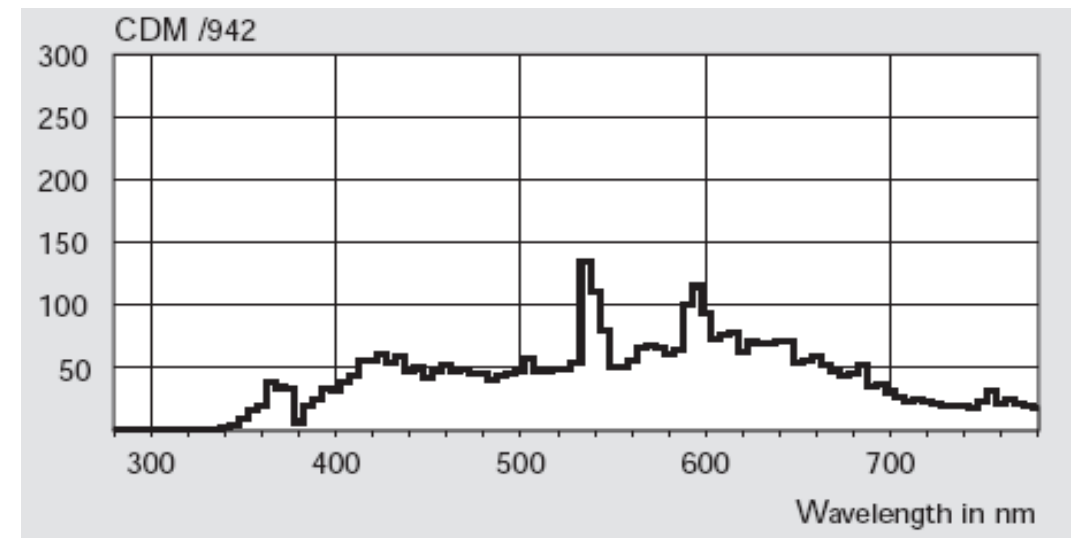
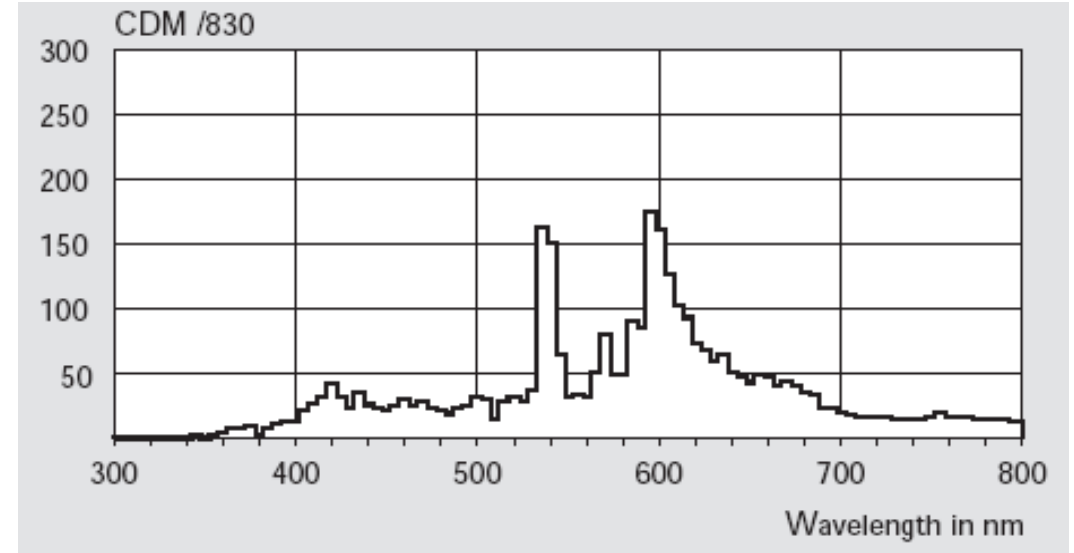
# Xenonové výbojky

- Pulzní bleskové fotografické xenonové výbojky 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,  $T_{chr} \approx 5800K$



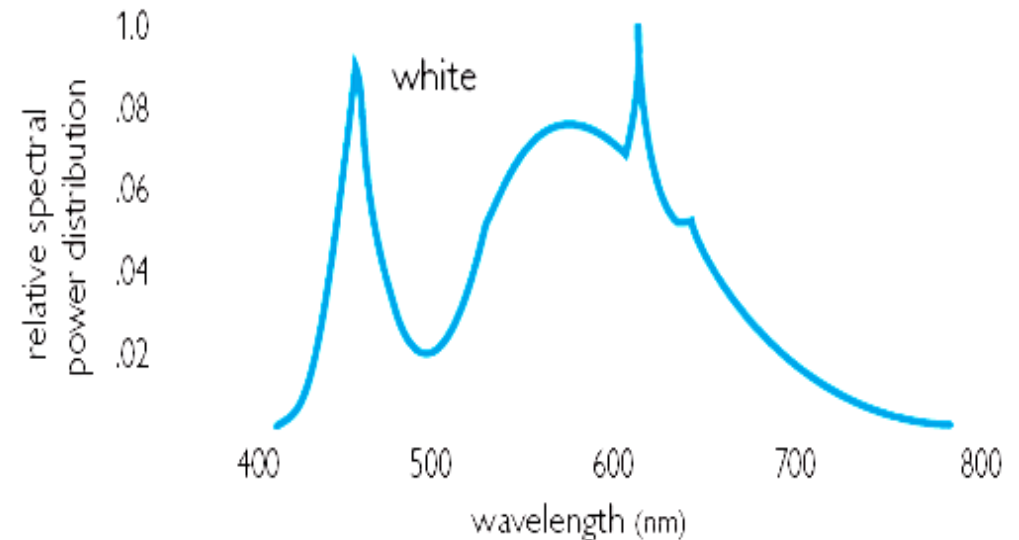
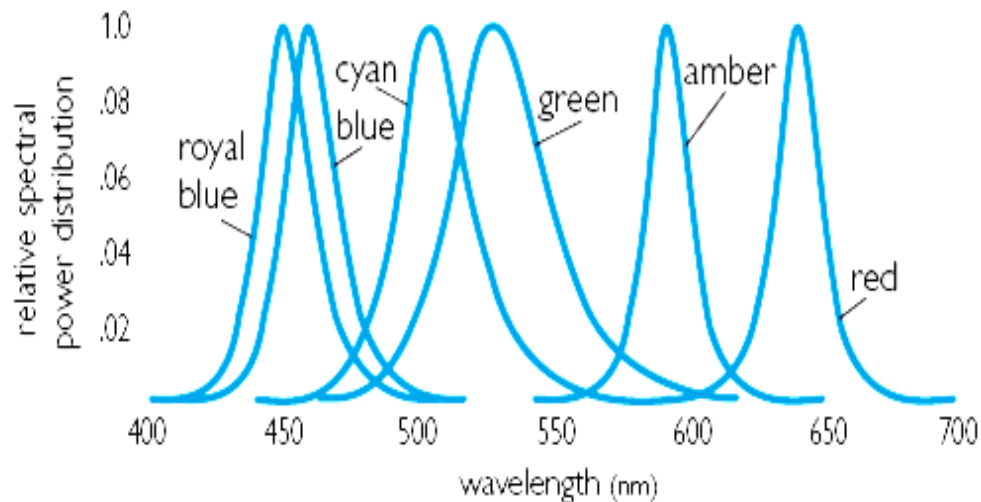
# Vysokotlaké výbojky metalhalidové

- 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.



# 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.



# Vyvážení bílé - film

## 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 **miredech** (*micro reciprocal degree*):

$$a=10^6/T$$

(v podstatě reciproké teploty chromatičnosti)

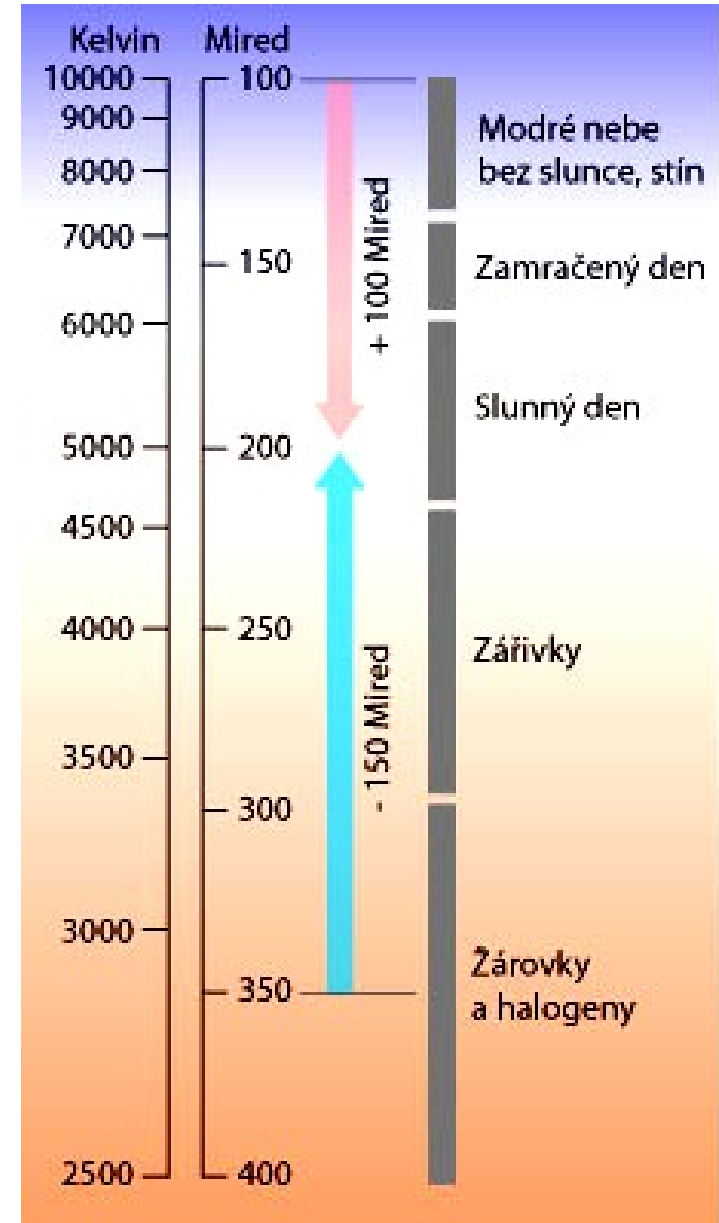
- Výhodou je, že stejné diference v miredech odpovídají stejným diferencím v barvě vnímané lidským okem. Prakticky se používá jednotka 10x větší **dekamired**. V dekamiredech jsou nastavovány i barevné korekce u digitálních přístrojů (obvykle vyšší kategorie)



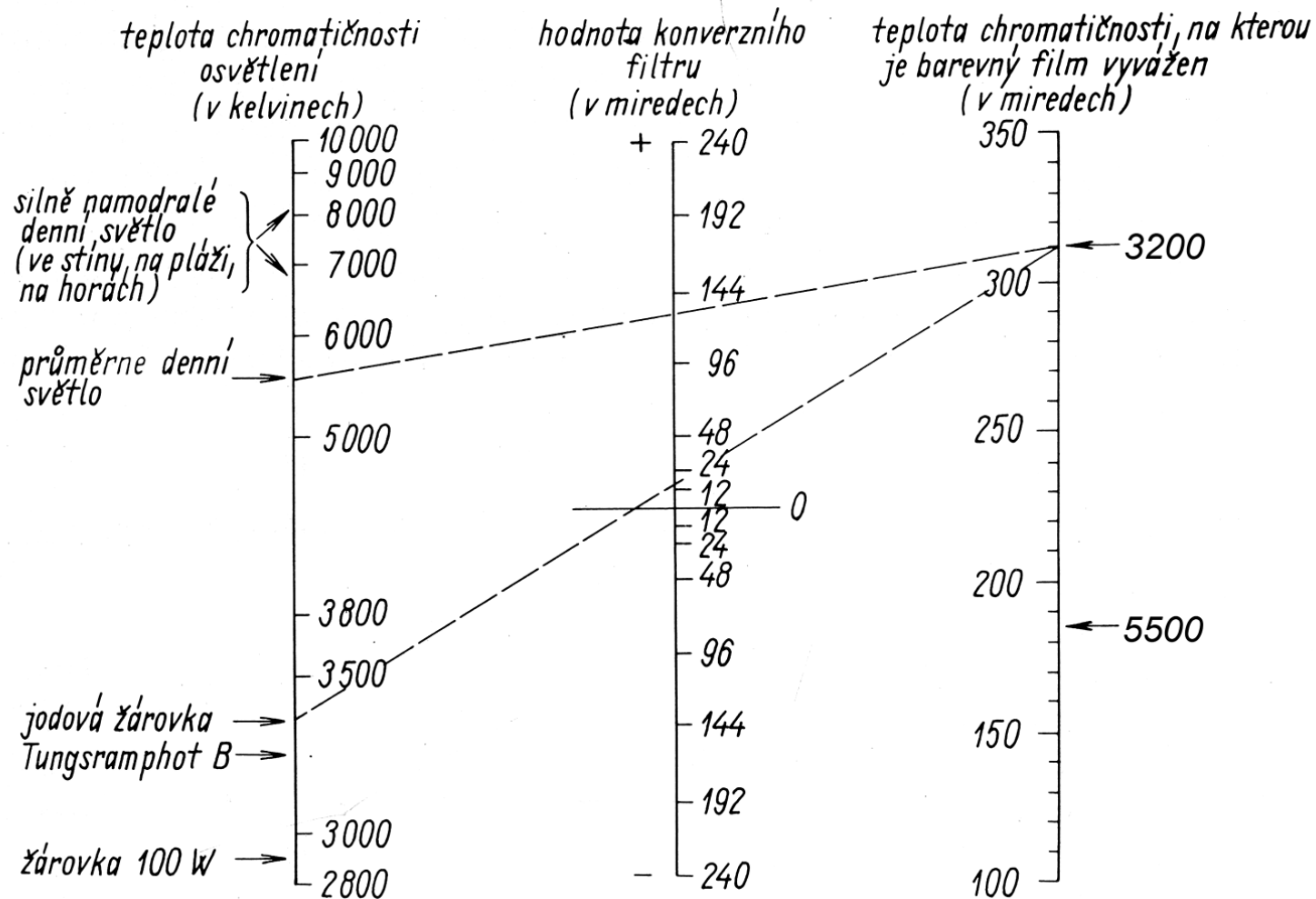
# Korekce konverzními filtry

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



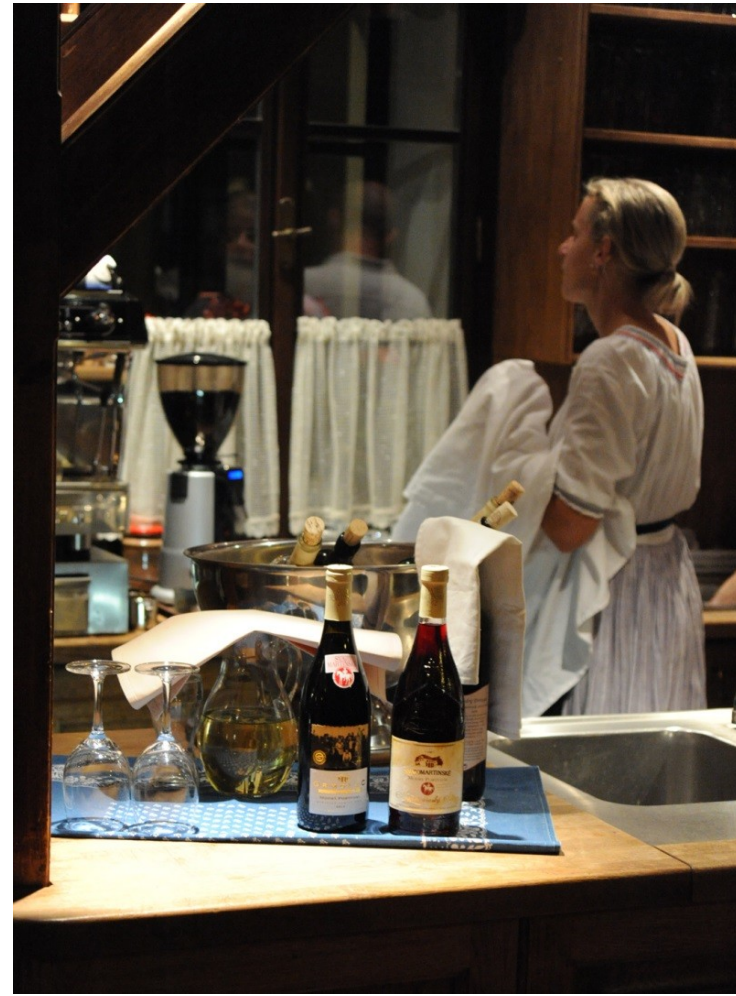
# Vyvážení bílé - digitální fotografie

- vyvážení bílé se děje posunem signálu (změnou intenzity, citlivosti) z jednotlivých kanálů RGB (mícháním barev)
- možné přístupy:
  - automaticky
  - přednastavené režimy (slunečno, žárovka, zataženo...)
  - ruční nastavení teploty chromatičnosti (ve stupních Kelvina)
  - kalibrace na bílou (šedou) tabulku
  - post-processing (focení do RAWu)

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



2017



prof. Otruba

51