

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

Vybrané statě z KOLORISTIKY

Lektor: Doc. Ing. Michal Vik, Ph.D.

Datum konání: LCAM KMI, ZU5 a ZU 6, budova B, TU Liberec



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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

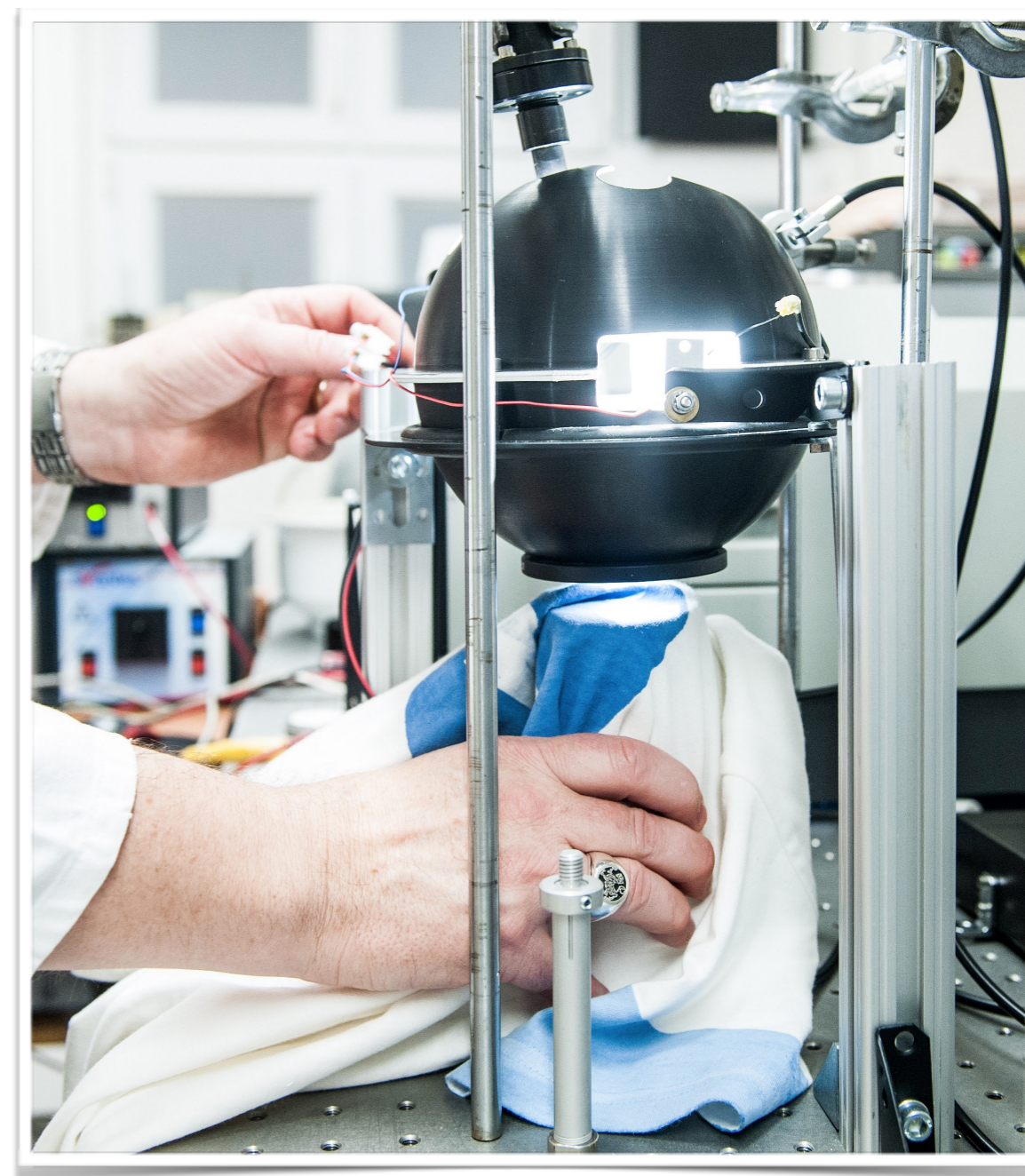
Historie LCAM TUL



Rok založení: 1999

výzkumná činnost se zaměřuje na:

- ❖ průmyslové posudky barevných rozdílů
- ❖ barevný vzhled výrobků pod různým osvětlením
- ❖ konstrukce speciálních měřících přístrojů
- ❖ senzorické textilie
- ❖ kamuflážní textilie
- ❖ hodnocení bělosti



ZÁKLADNÍ POJMY



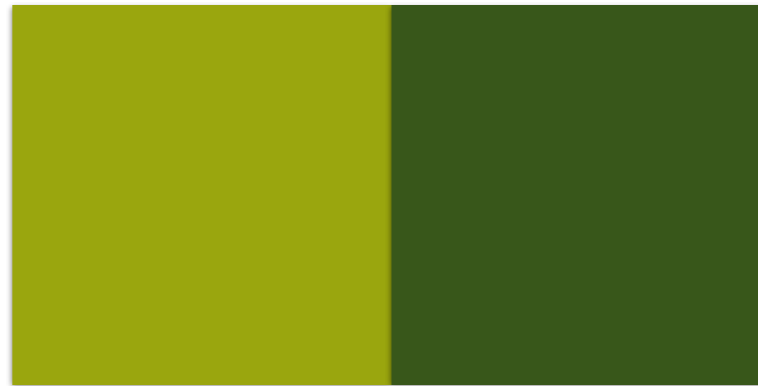
Barva I

- Barva je to první, co vnímáme, pak teprve vnímáme tvary, detaily,... Je pro nás často jednodušší si vybavit barvu předmětu než například jeho tvar.
- Kdybychom neviděli barevně, byl by náš vnitřní svět mnohem chudší.



Barva II

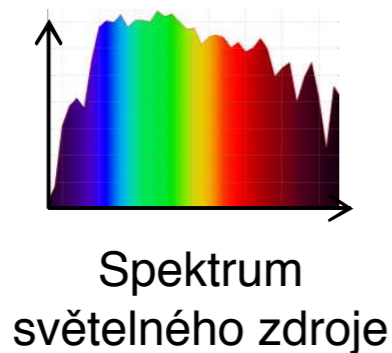
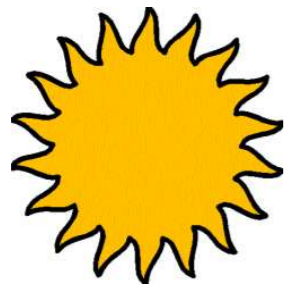
- Barva je ta vlastnost zrakového počítku, kterou se odlišují dvě bezstrukturní části zorného pole stejného tvaru a rozměru.



- Bezstrukturní částí je zbytek vjemu po odečtení dojmu prostorového rozložení, rozměrů a časové proměnnosti od zrakového počítku.
- Rozdíl mezi uvedenými dvěma částmi zorného pole je zpravidla dán rozdílem ve spektrálním složení záření.
- Výjimkou jsou metamerní barvy, které i při rozdílném spektrálním složení vzbuzují stejný počitek barvy.

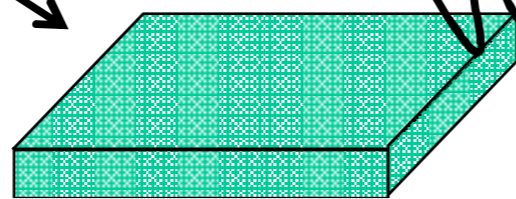
Objektivní popis barevného vzhledu

Světelný zdroj

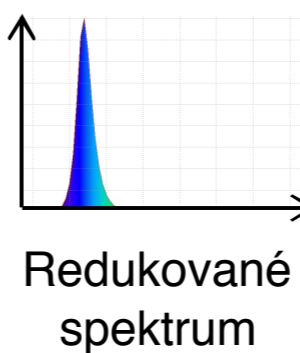


Objekt

Kódování vlivem optických vlastností objektu



kódovaná informace



Pozorovatel

vjem



Jas (Světlost)

Barva

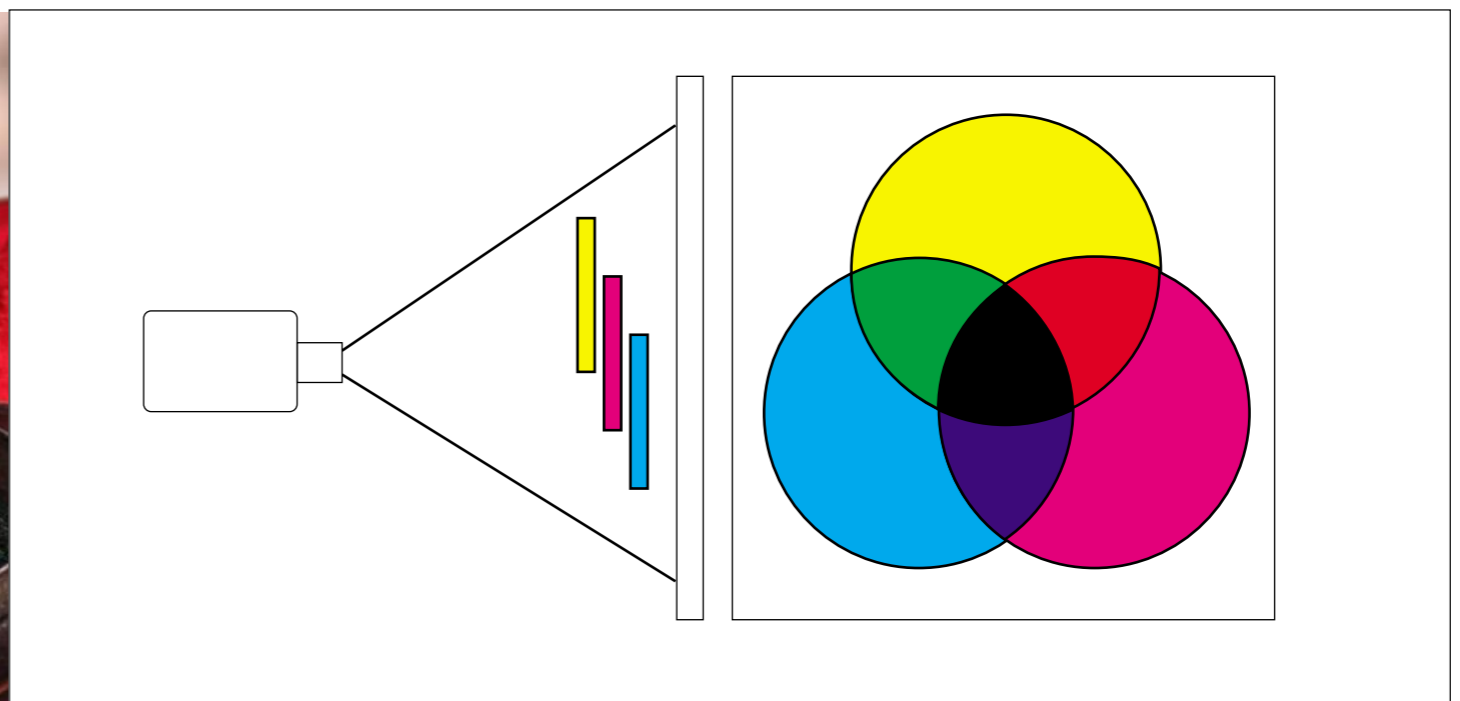
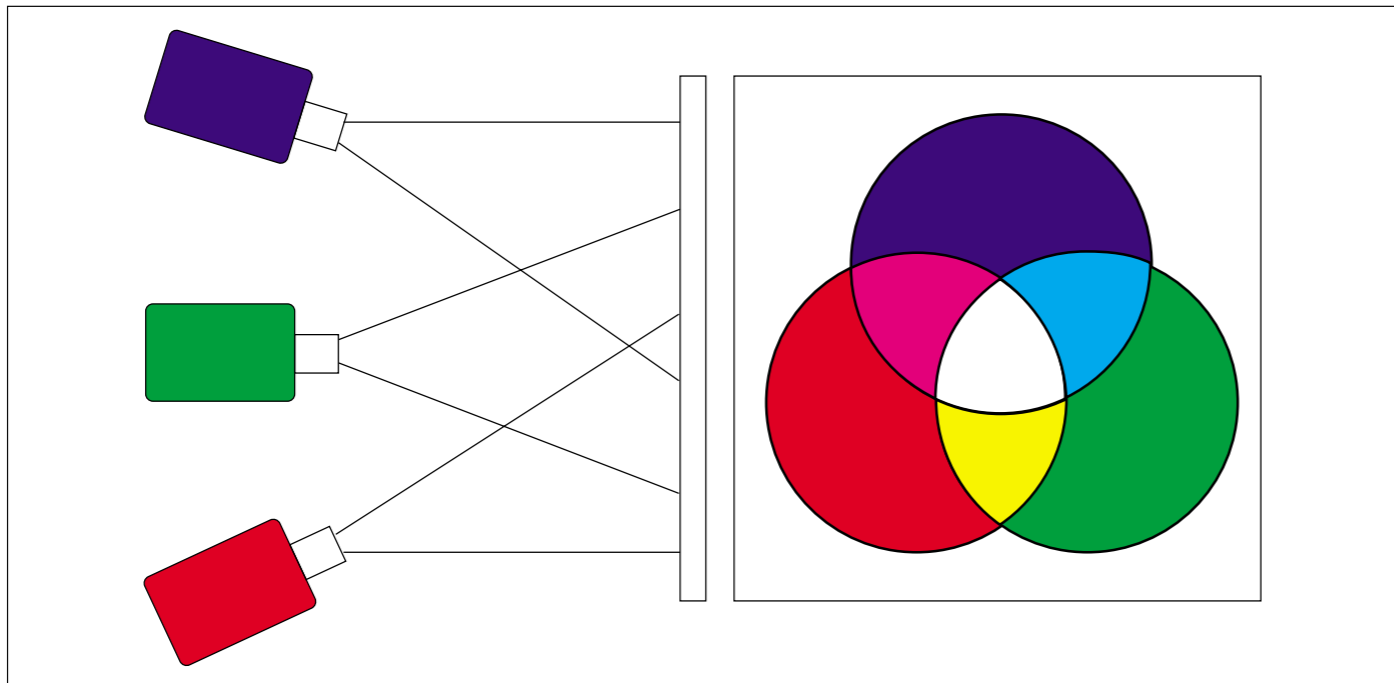
Fotometrie

Kolorimetrie

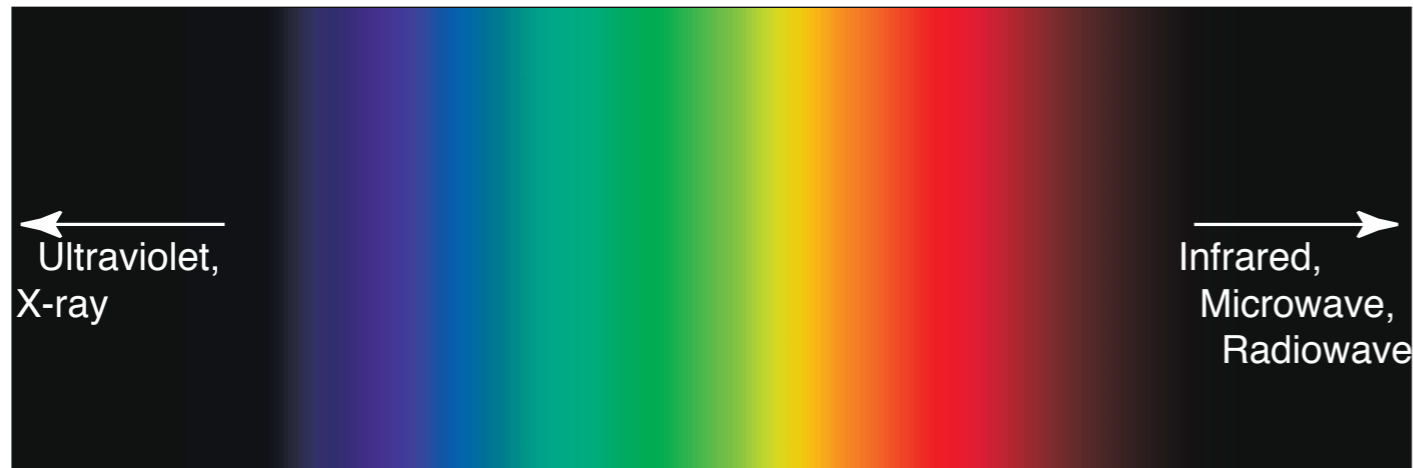
Fotometrie je část optiky, která zkoumá světlo z hlediska jeho působení na zrakový orgán. Veličiny jsou vztaženy k poměrné spektrální citlivosti V_λ

Kolorimetrie je část optiky, která zkoumá světlo z hlediska jeho působení na zrakový orgán. Veličiny jsou vztaženy k funkcím poměrného spektrálního vyrovnání x_λ y_λ z_λ

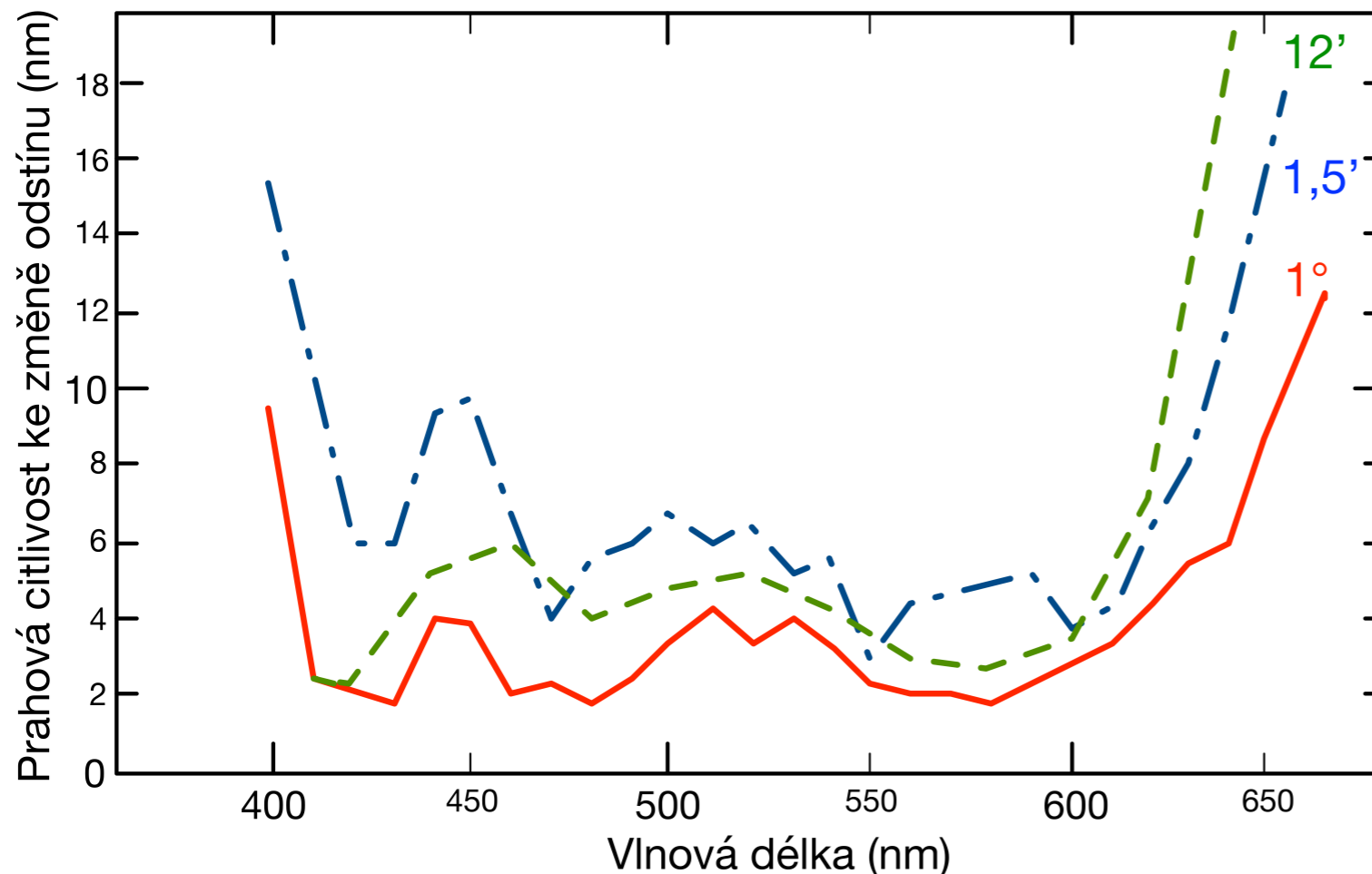
Aditivní a subtraktivní míchání barev



Spektrum



450 550 650
Wavelength, nanometers (nm)



červená 650-700 nm
oranžová 600-650 nm
žlutá 550-600 nm
zelená 500-550 nm
modrá 450-500 nm
fialová 400-450 nm

spektrální čáry:

Rtut'

- 404.7 fialová
- 435.8 indigová

argonový laser

- 488 nm modrá
- 514 zelená

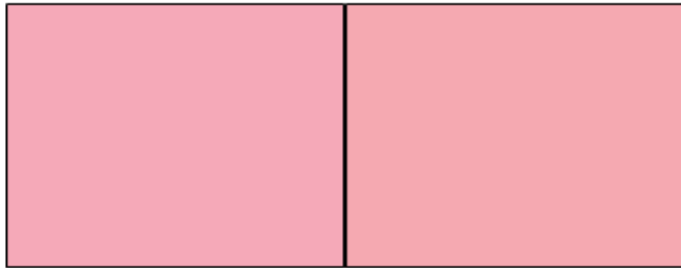
sodíková výbojka

- 586 nm žlutá

HeNe laser

- 543,5 nm zelená
- 594,1 nm žlutá
- 611,9 nm oranžová
- 632,8 červená

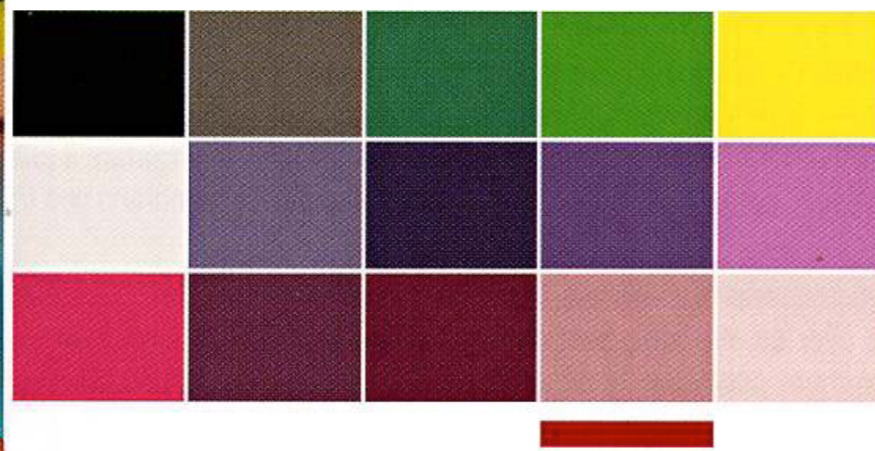
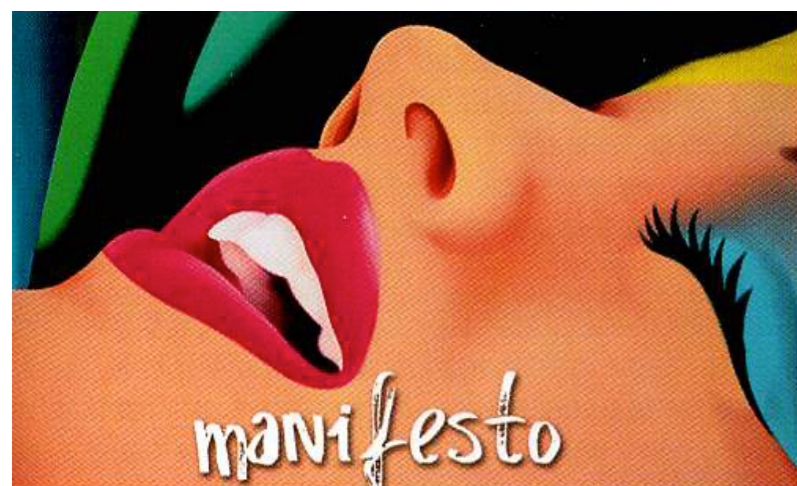
Proč je barva tak důležitá?



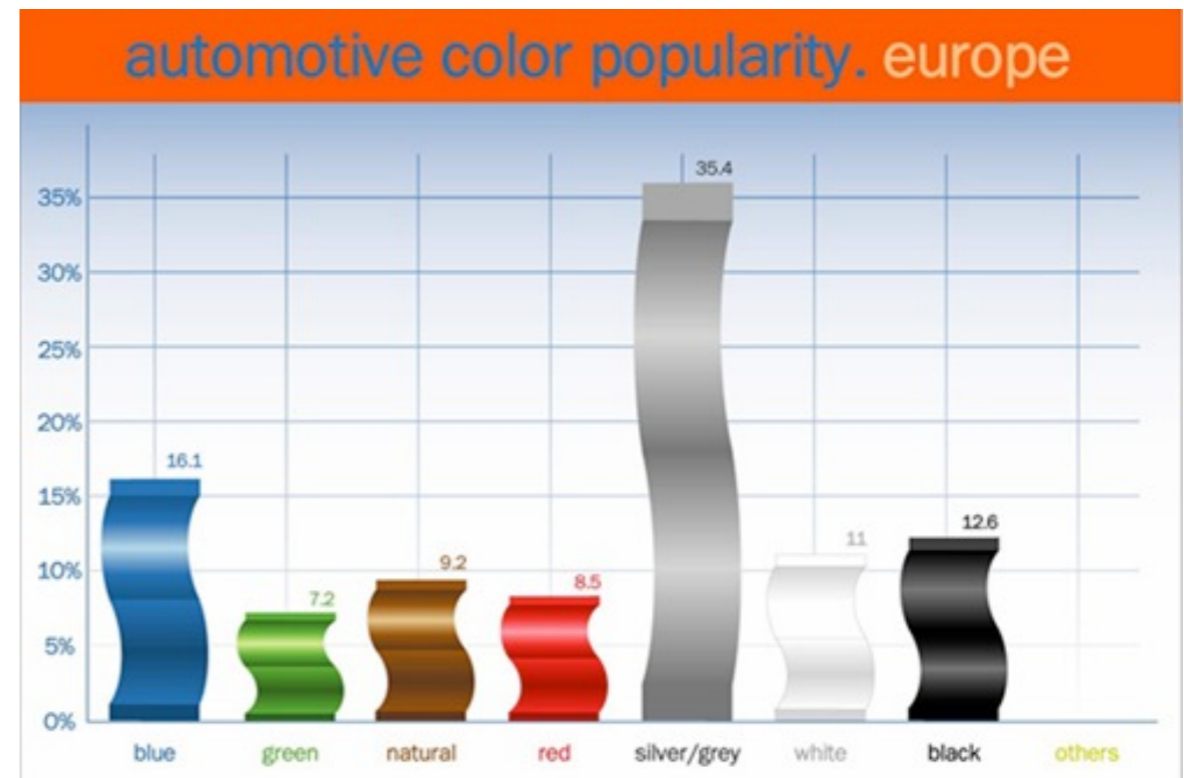
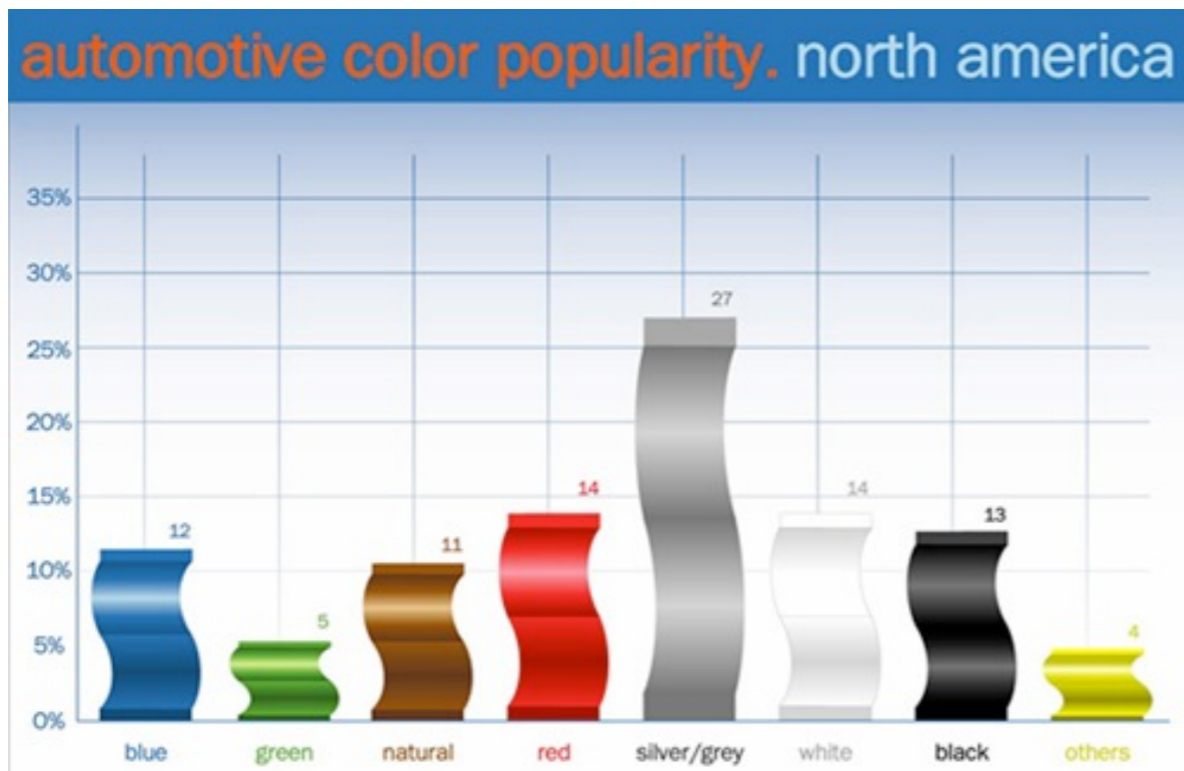
Barva prodává!!!

- Význam pro obchod
 - První je Barva...potom...
 - Design, Tvar, Textura, Pocit...*
- Sociální postavení
 - Svatba, Obchod, Pohřeb,
 - Móda
- Subjektivní element

Ukázka sezónních módních trendů z hlediska barevnosti



Preference barev

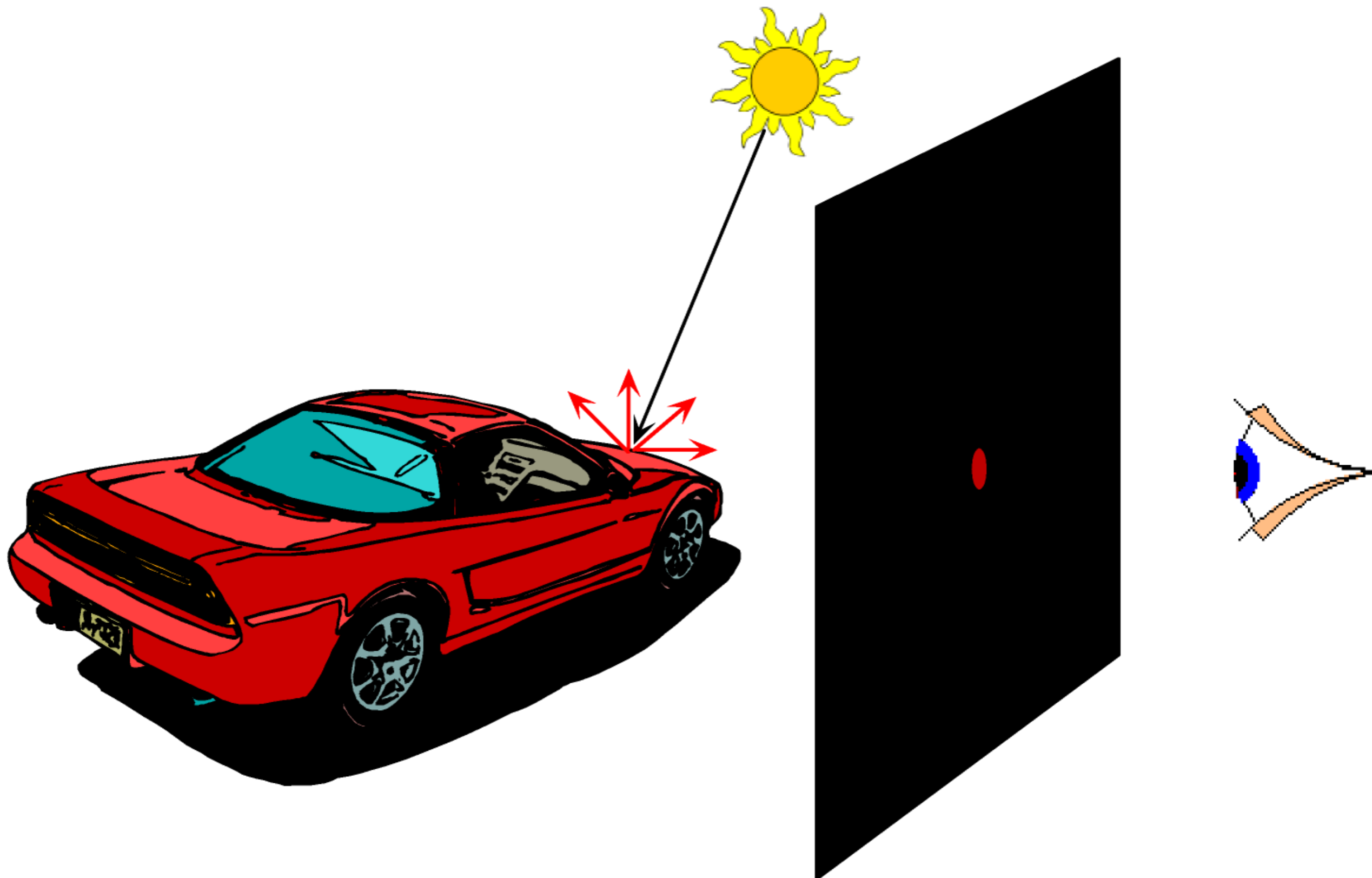


Je nutné mít také na paměti,
že zákazníci kladou velký
důraz na barevný vzhled
výrobku:

**Zákazník nemá rád
překvapení!!!**

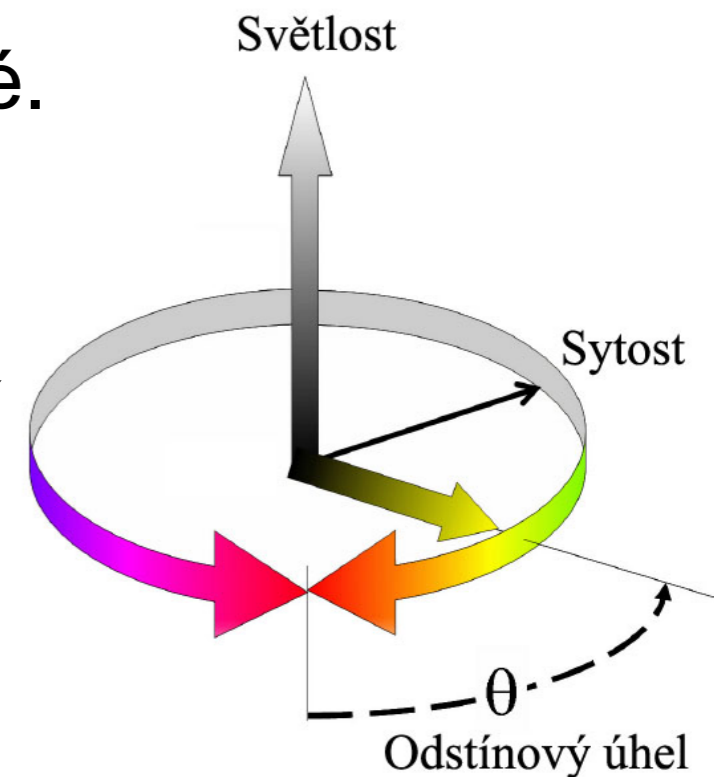


Vznik aperturní barvy

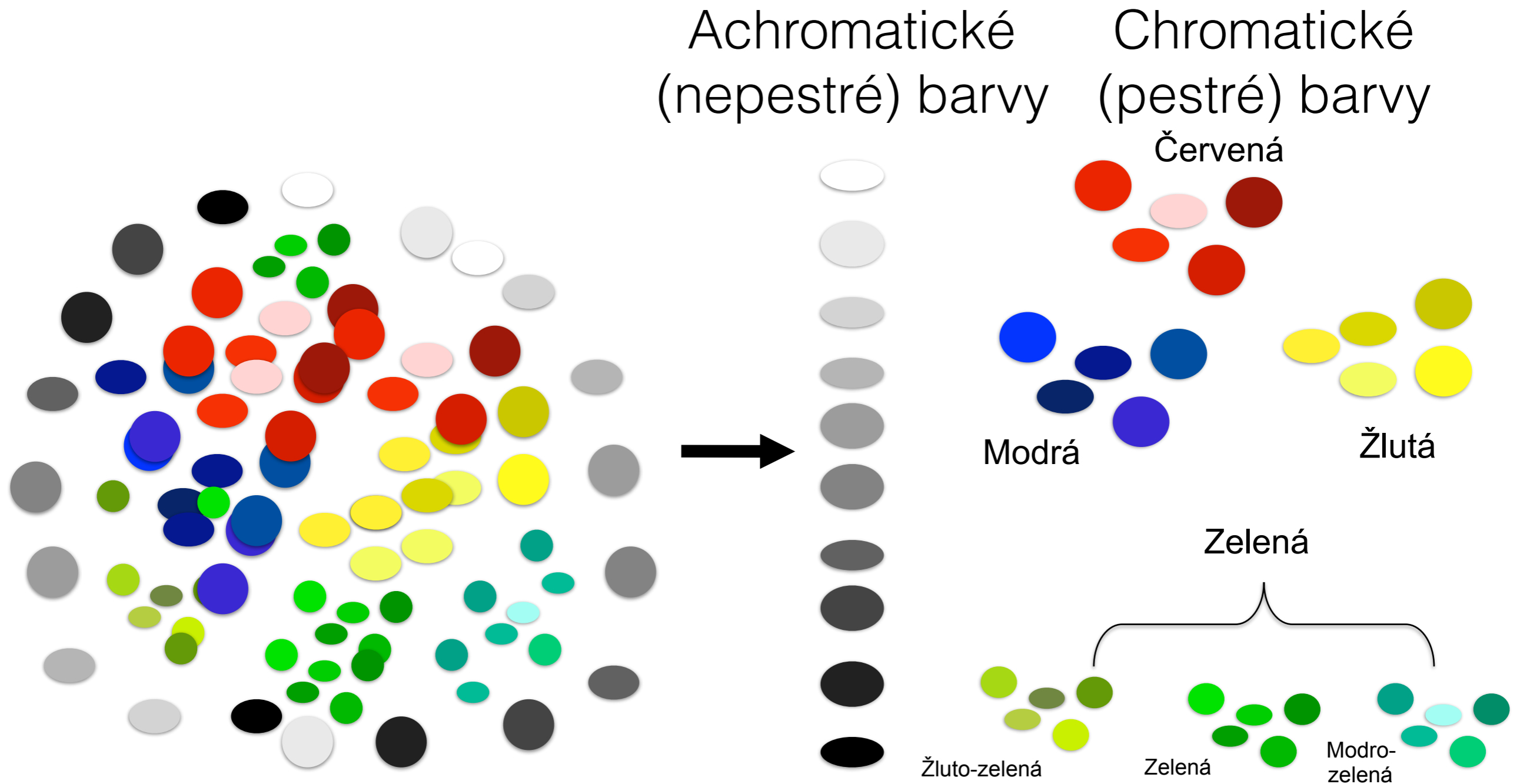


Charakteristika barvy

- Barevný tón – kvalitativní odlišnost vjemu jednotlivých spektrálních barev. Vyjadřuje se názvy červená, zelená...
- Sytost barvy – udává podíl čisté spektrální či purpurové barvy v dané barvě na celkovém barevném počítku.
- Světlost – udává intenzitu vjemu světelného toku nebo jas.
- Poznámka: Barvy se dělí na pestré a nepestré.
Pestrá barva představuje takový vjem barvy, který má barevný tón.
Nepestré barvy jsou vjemy barev, které nemají barevný tón – rozdíl pouze ve světlosti.

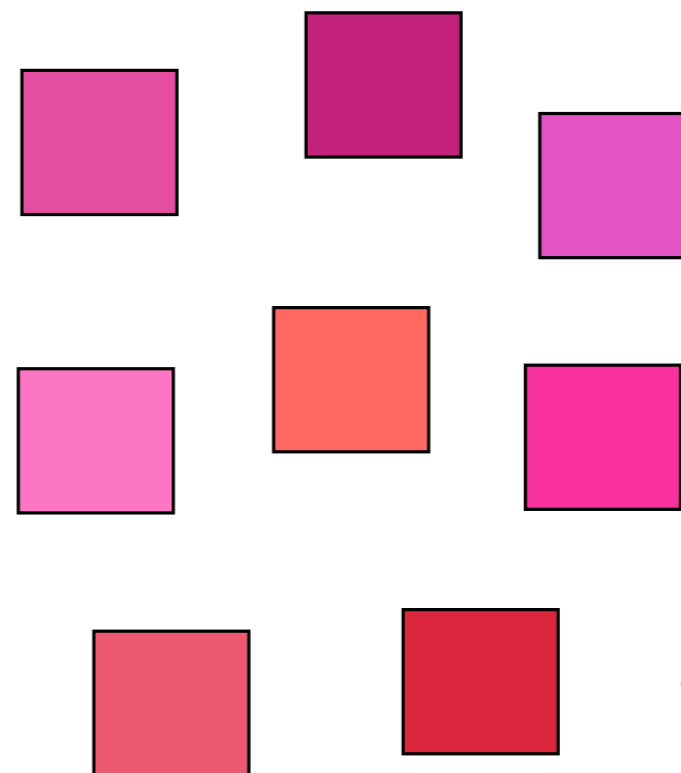


Experiment „opuštěných ostrůvků“ (D.B. Judd 1975)

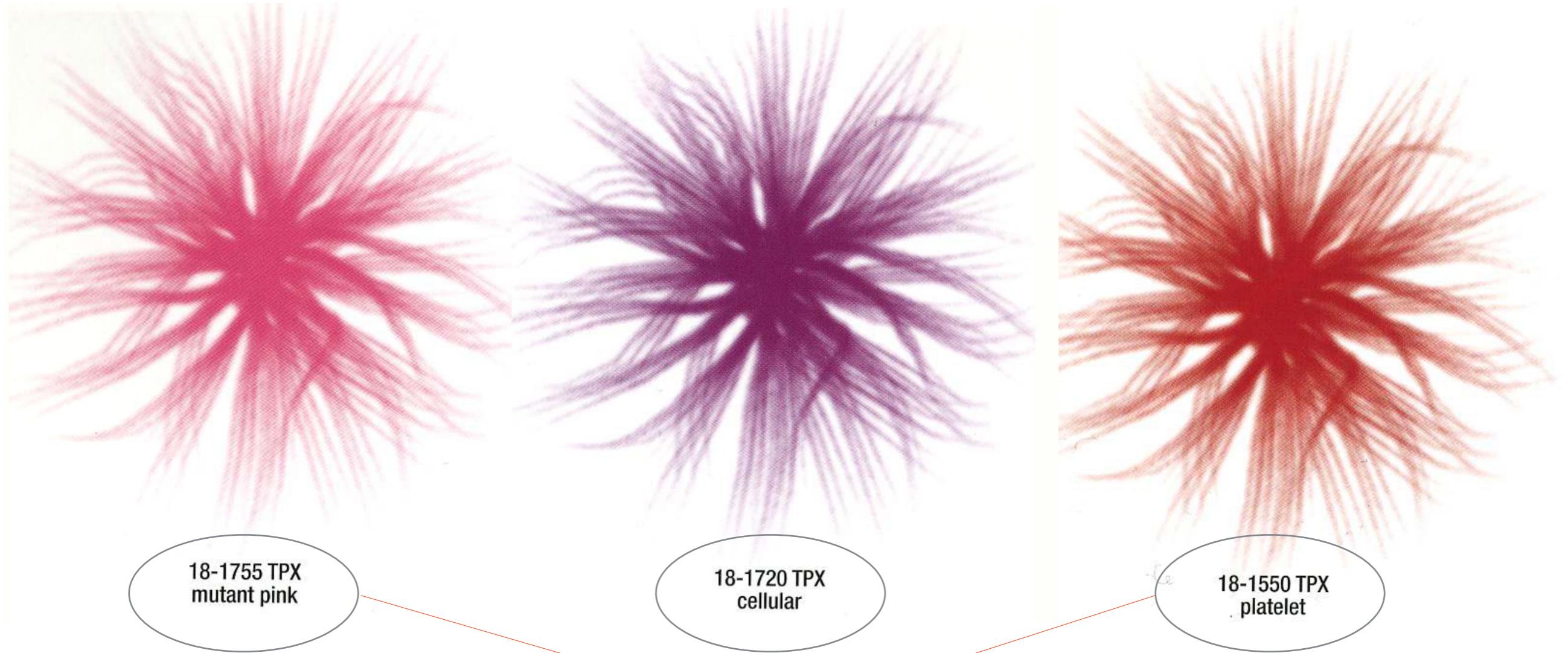


Člověk s bezdefektním vnímáním barev, bez zkušeností z kolorimetrie, přirozeně rozdělí jednotlivé barvy do logických skupin.

Komunikace v oblasti barev



Komunikace v oblasti barev



Je vhodnější název nebo kódové označení?

Jaký název by jste vybrali?

- Oranžovo-červená
- Modro-červená
- Červená
- Marlboro červená
- Ferrari červená
- Římská červená

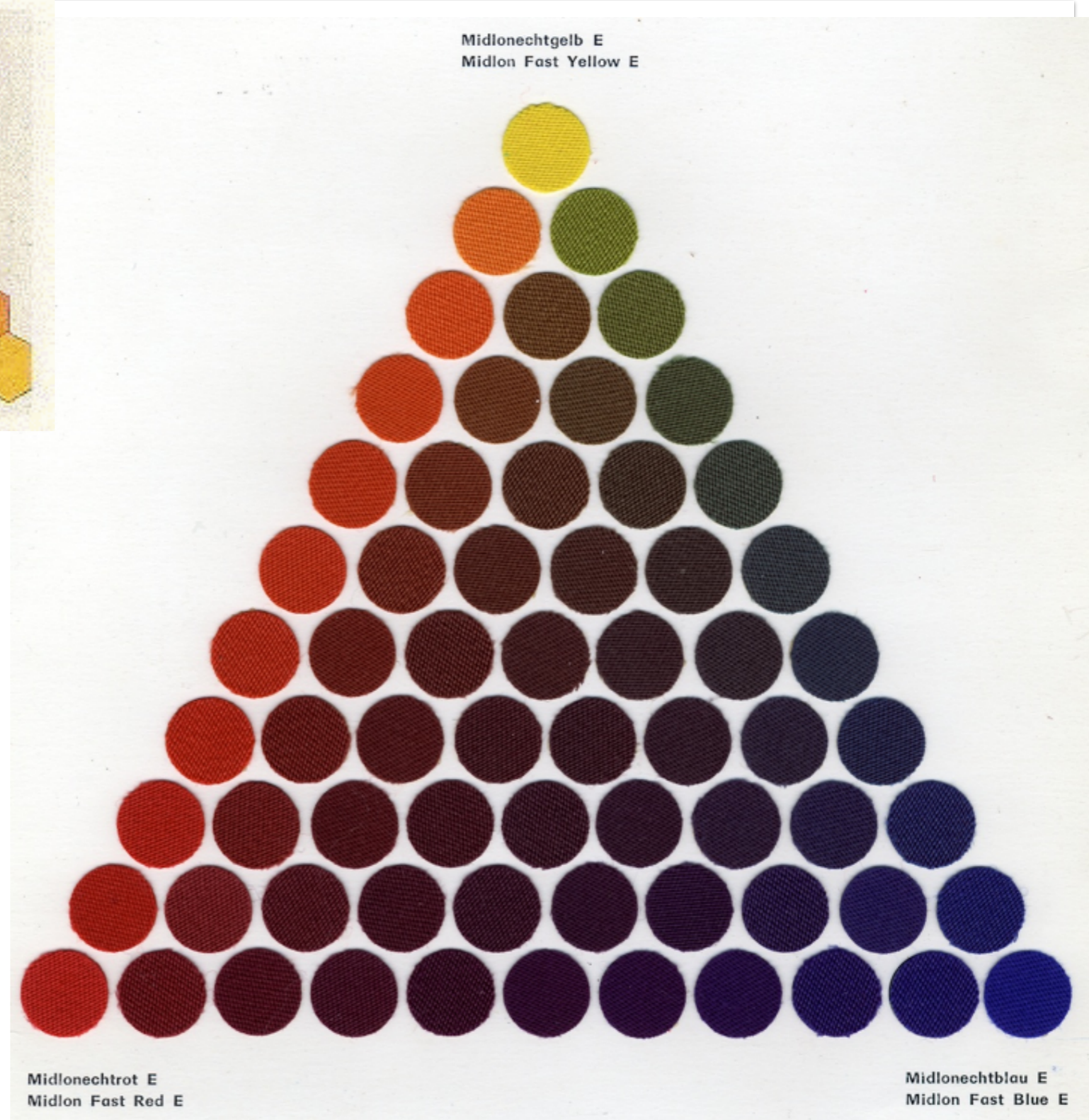
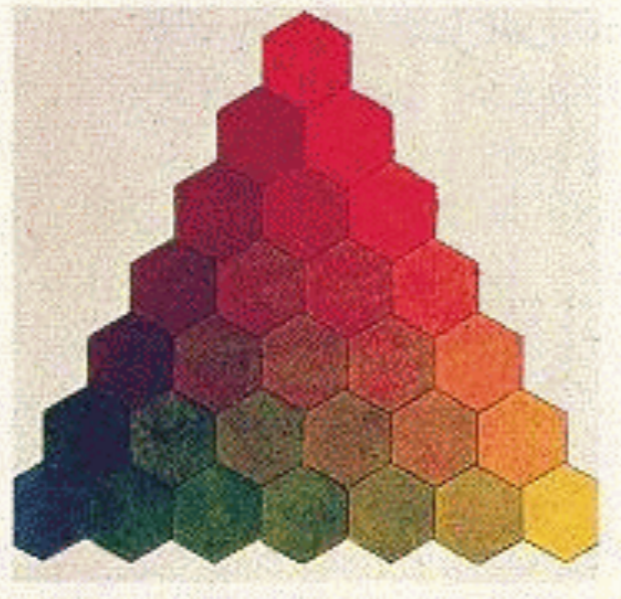
Atlasy a číselníky barev

- základním požadavkem je jejich reprodukovatelnost - jinak není možná komunikace
- vizuální hodnocení, resp. výběr vzorku je nutno provádět při standardizovaném osvětlení

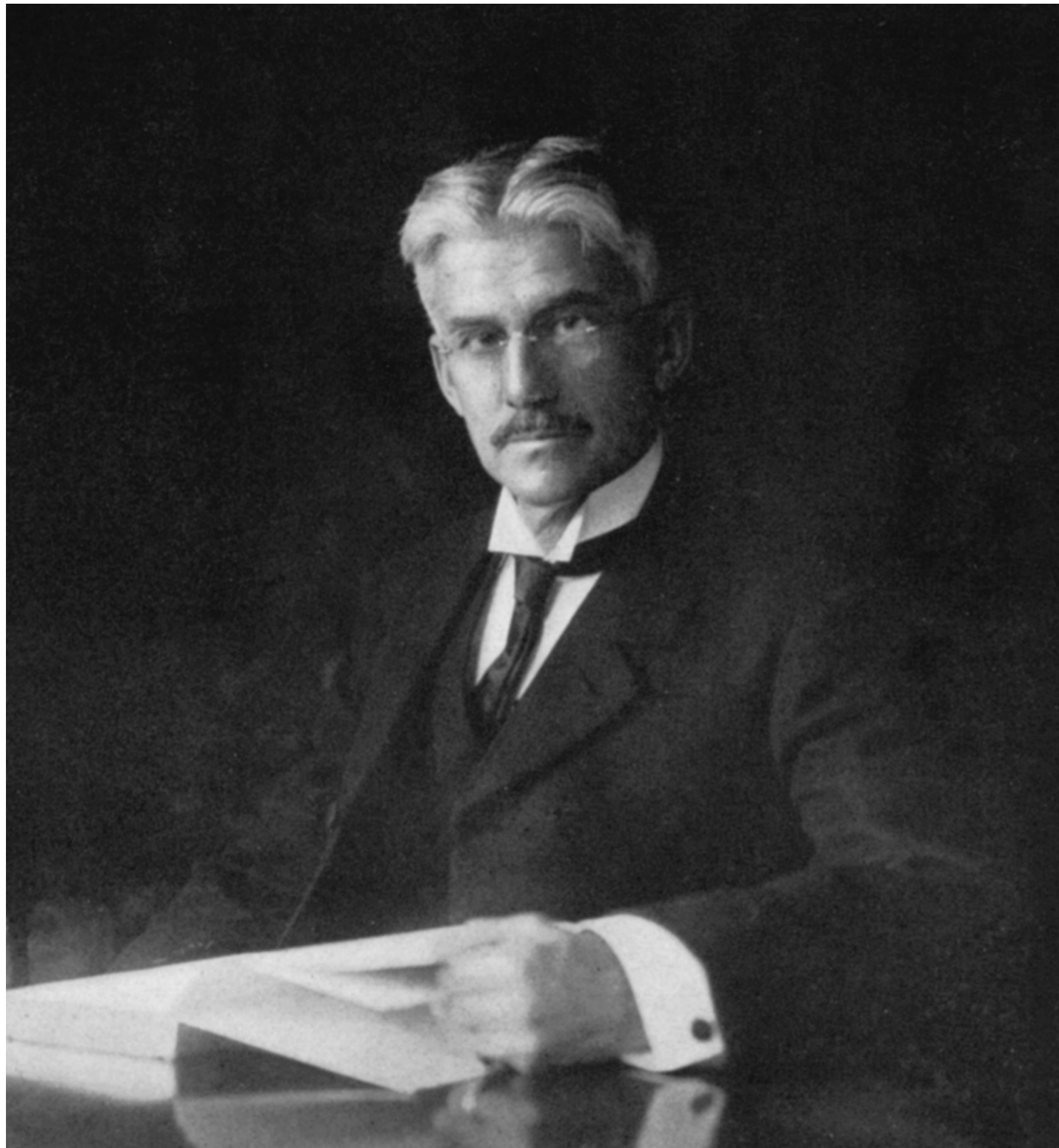
Historický přehled



Johan Tobias
Mayer 1756



Albert Henry Munsell



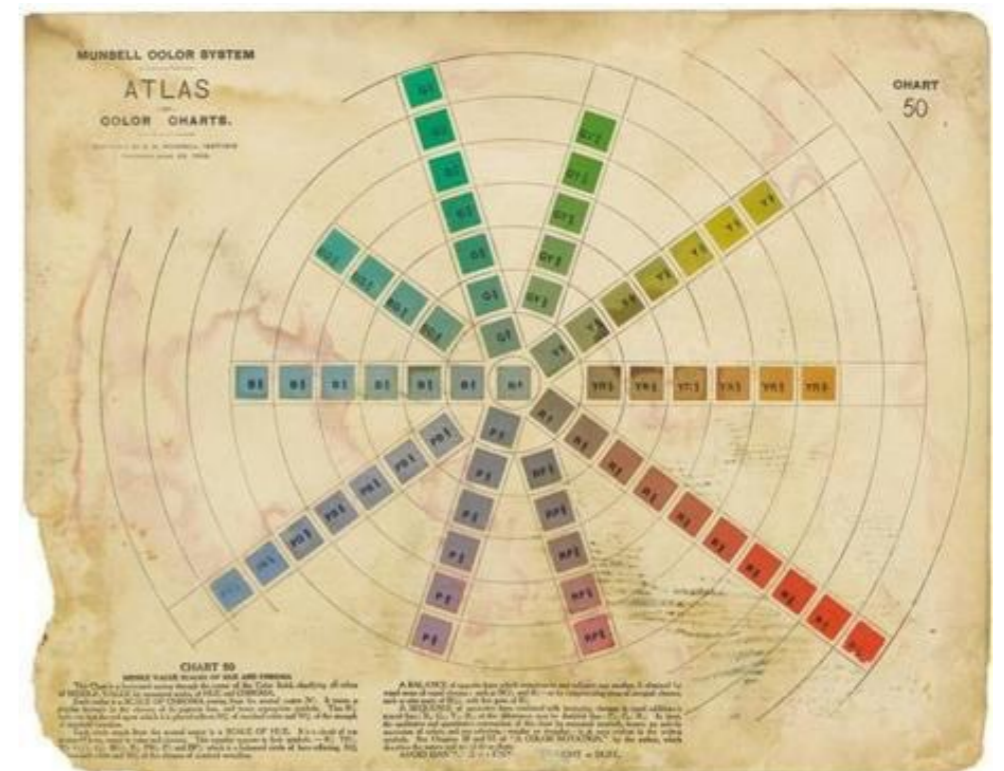
* 6. ledna 1858

† 28. června 1918

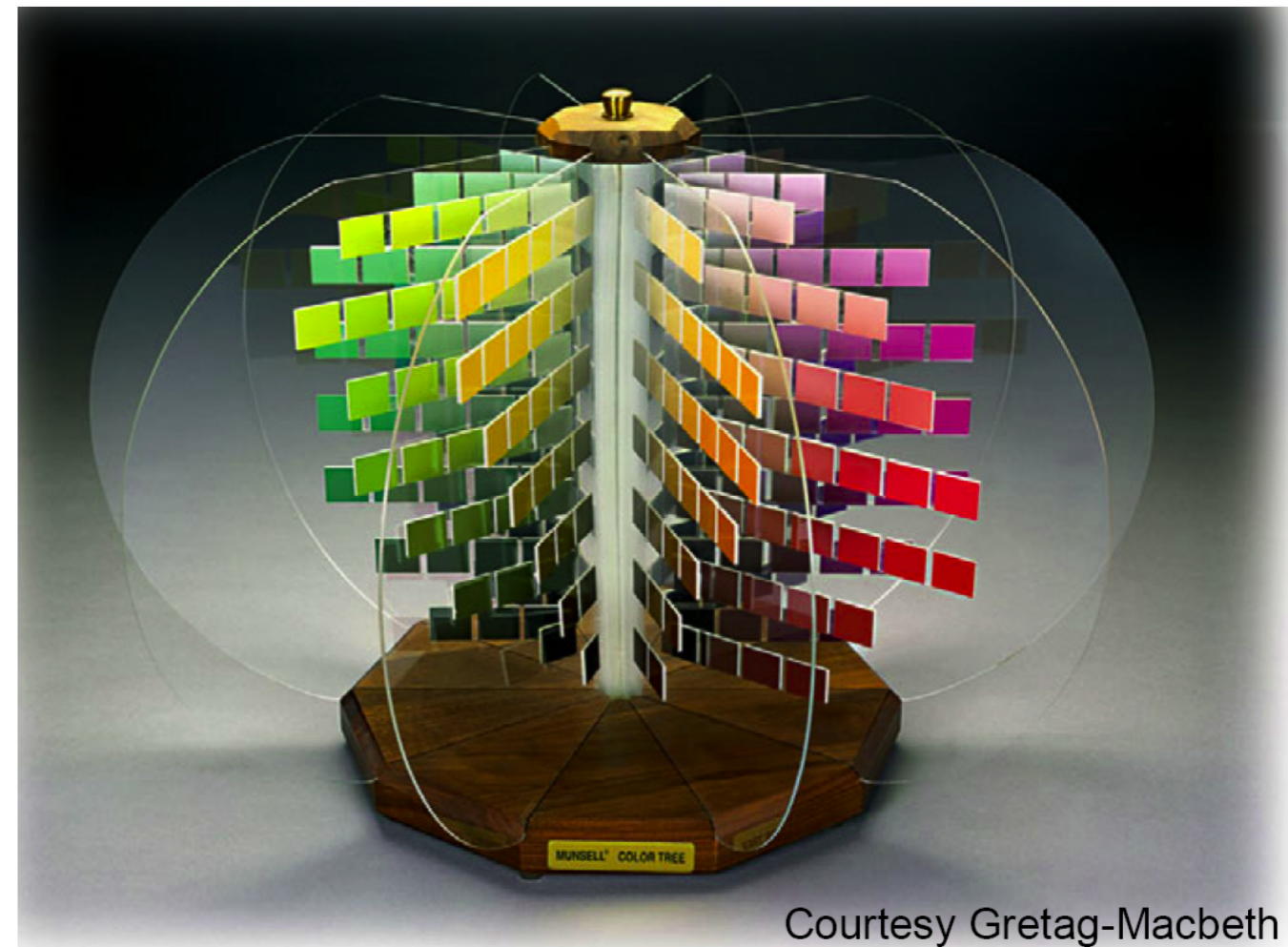
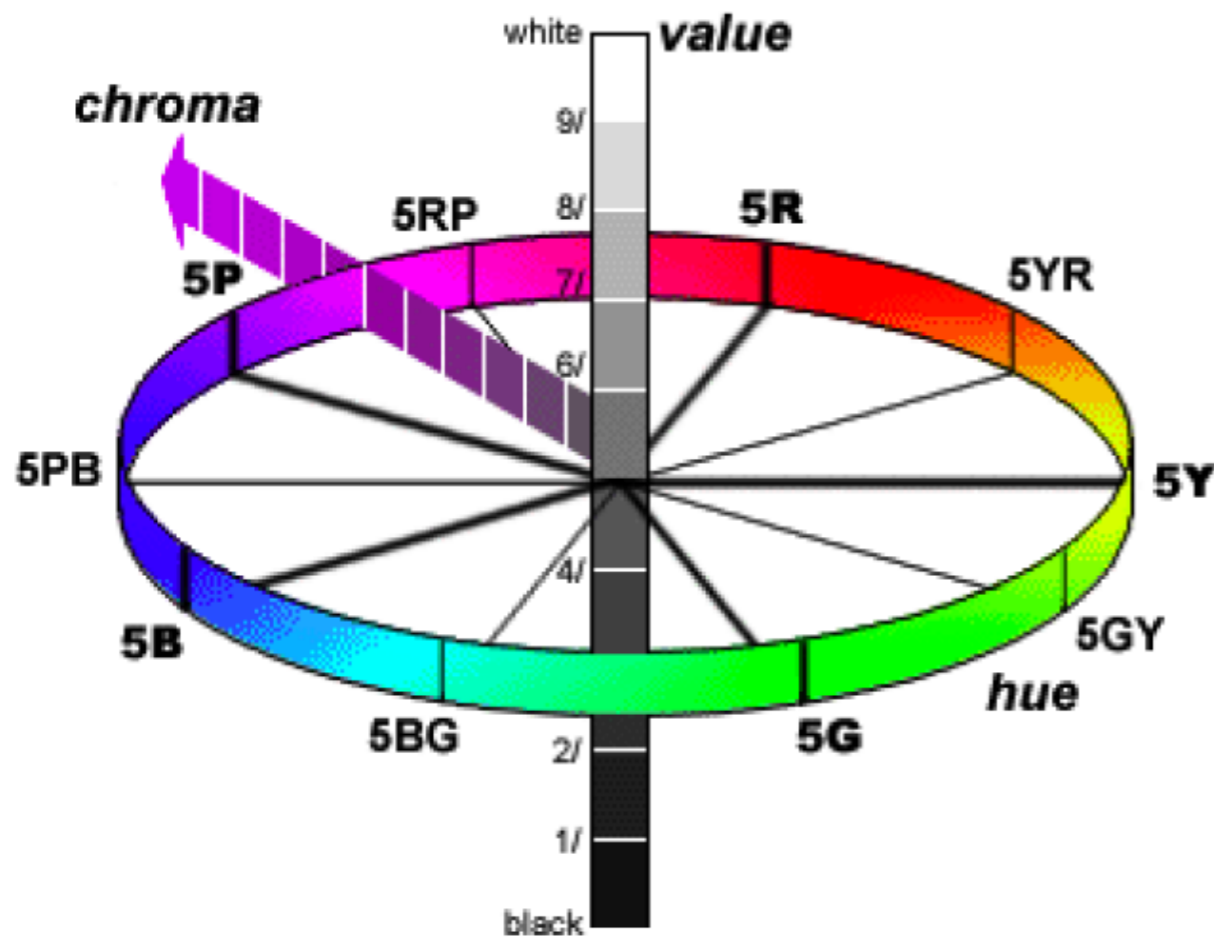
1905 – A Color Notation

1915 – The Munsell Atlas of
Color

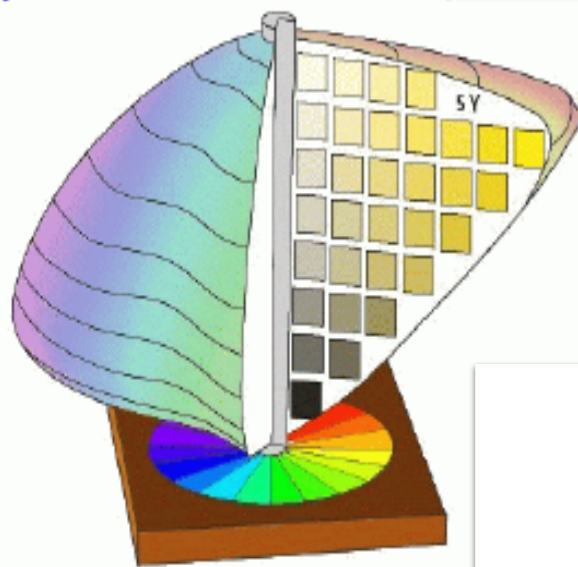
1918 – A.H. Munsell Color
Company



Uspořádání Munsellova atlasu



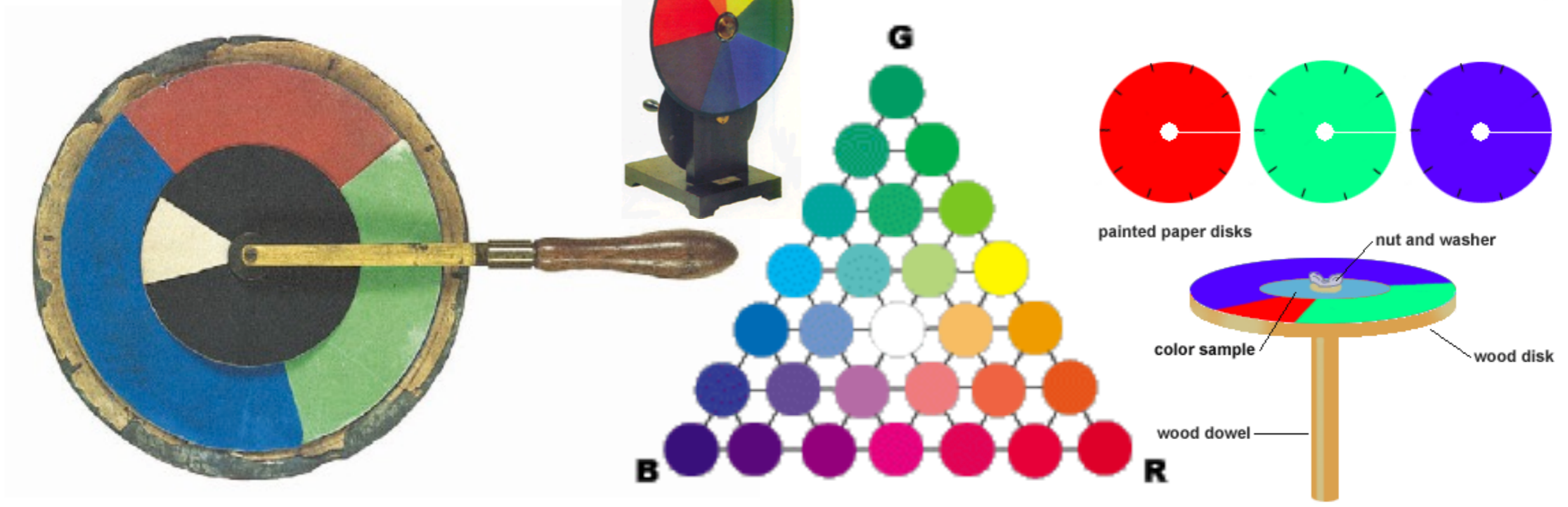
Courtesy Gretag-Macbeth



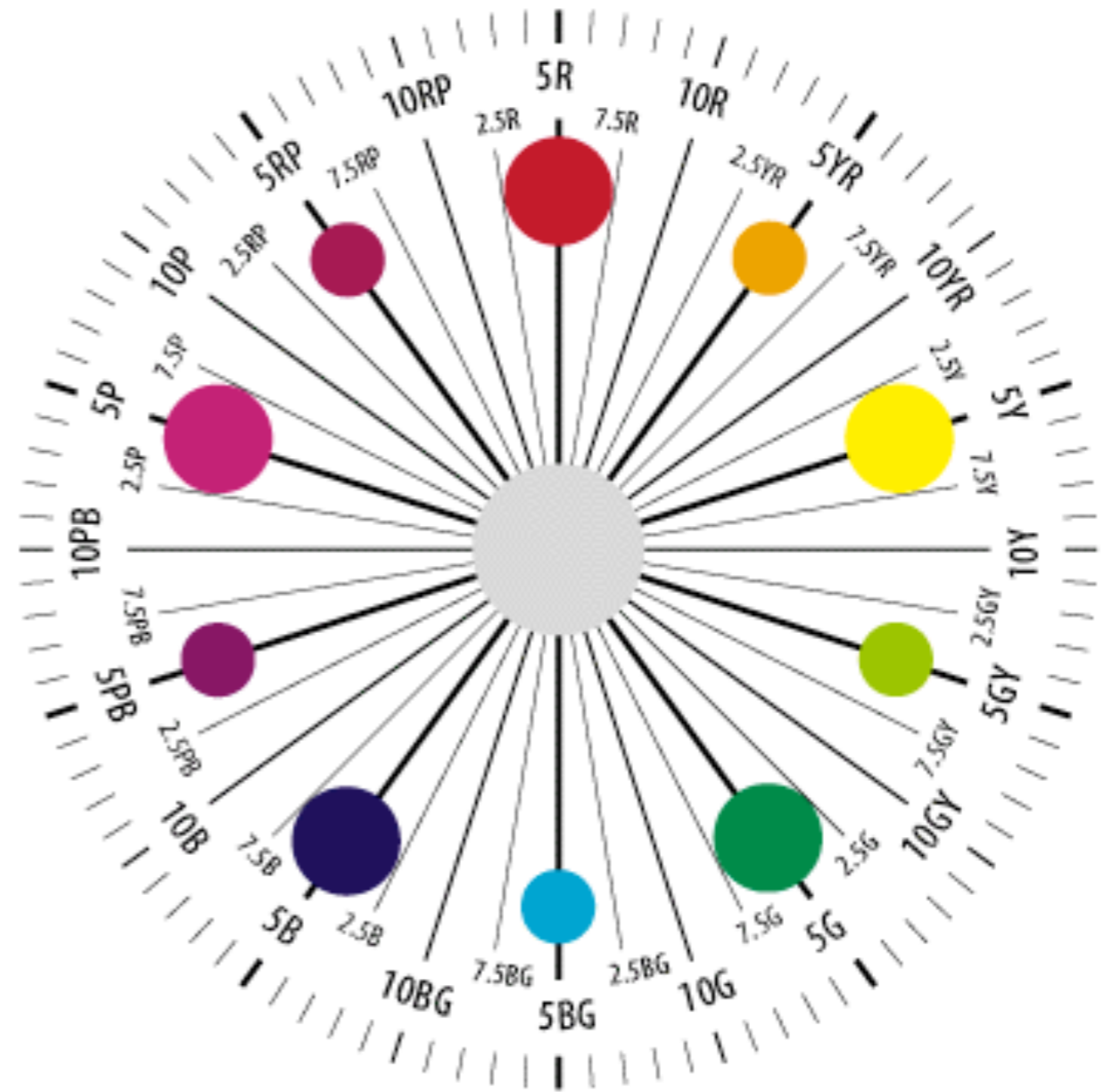
Maxwellův kolorimetr



Podle přednášky, kterou měl James Clerk Maxwell 19-tého Března 1855 před Královskou Společností v Edinburgu.

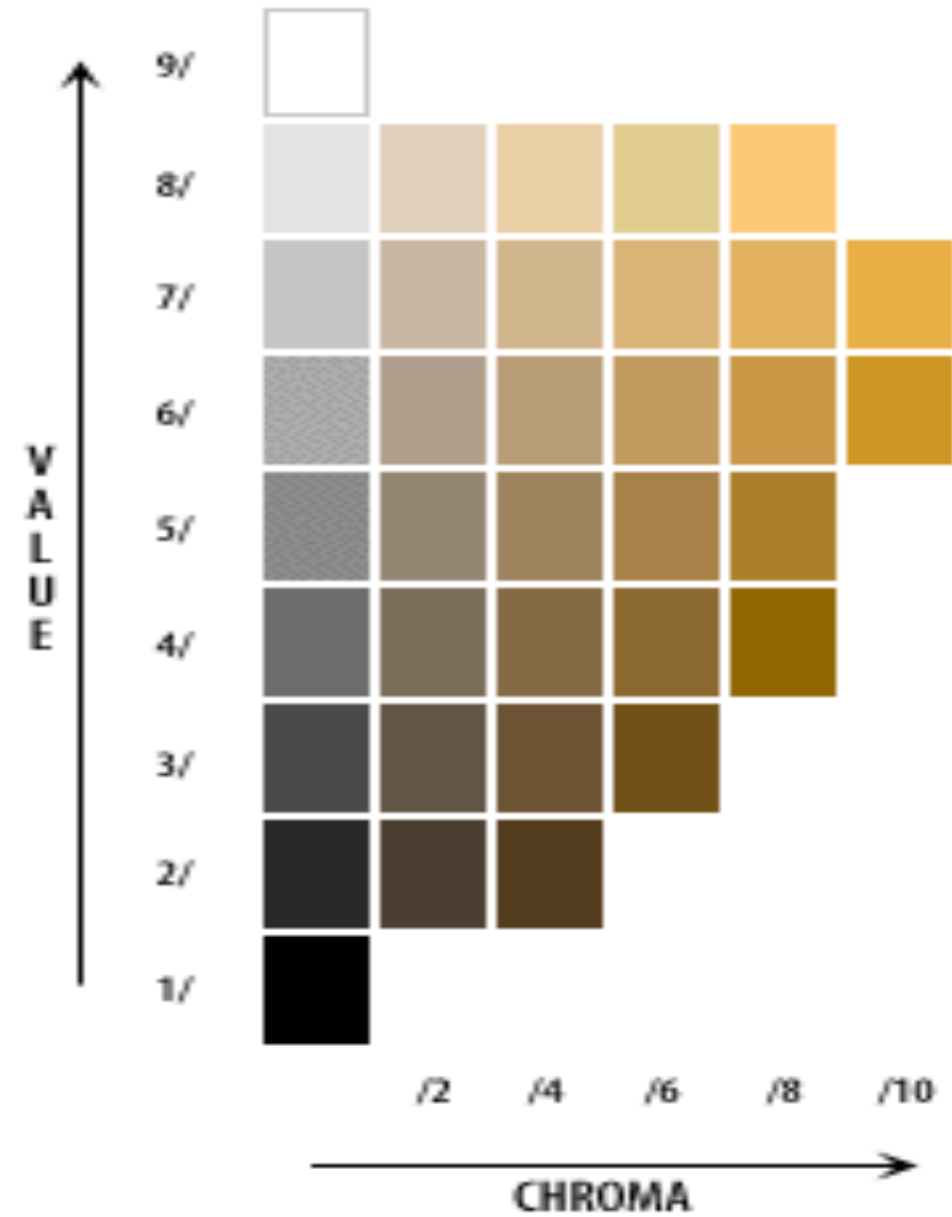
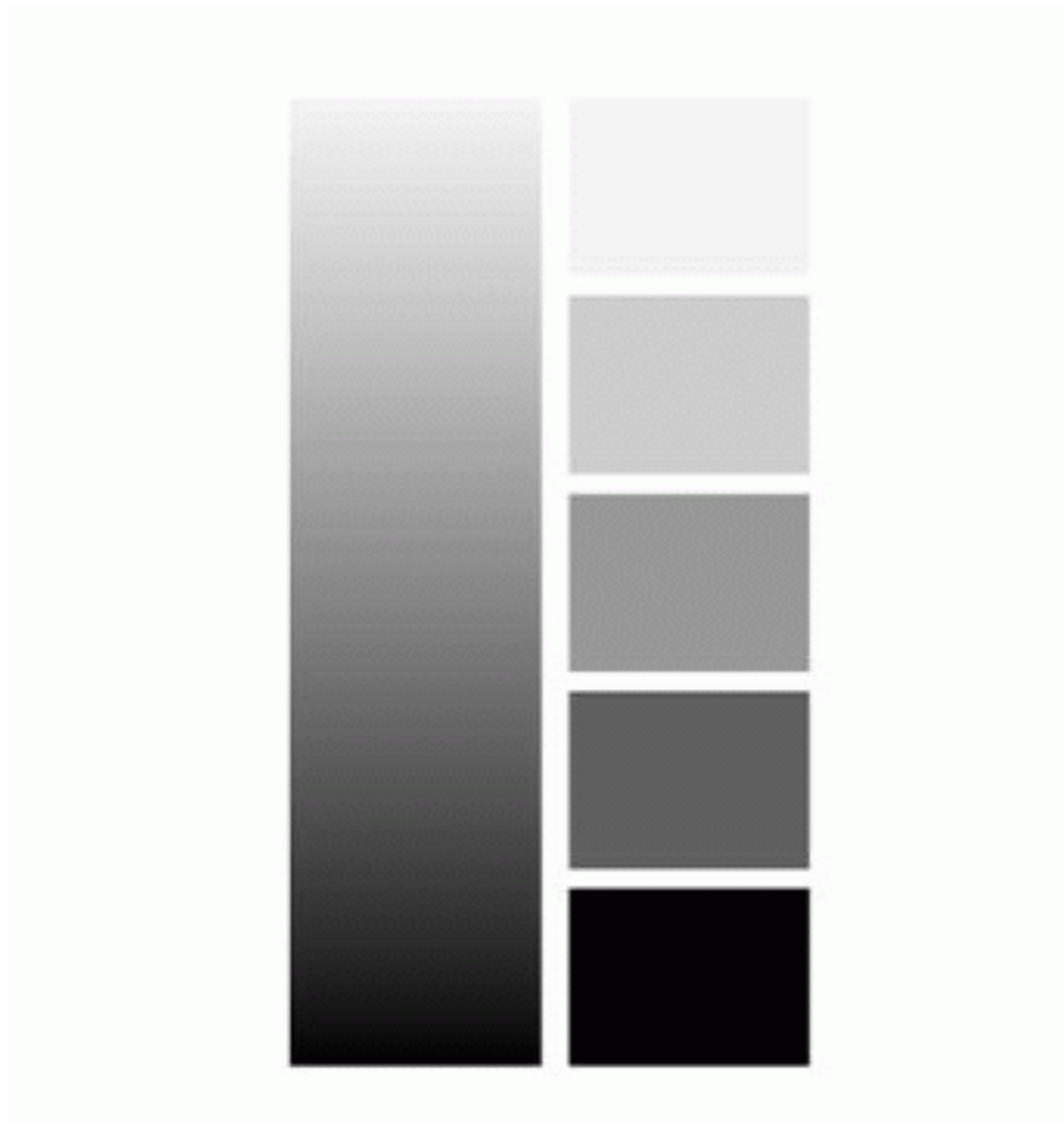


Hue (odstín)



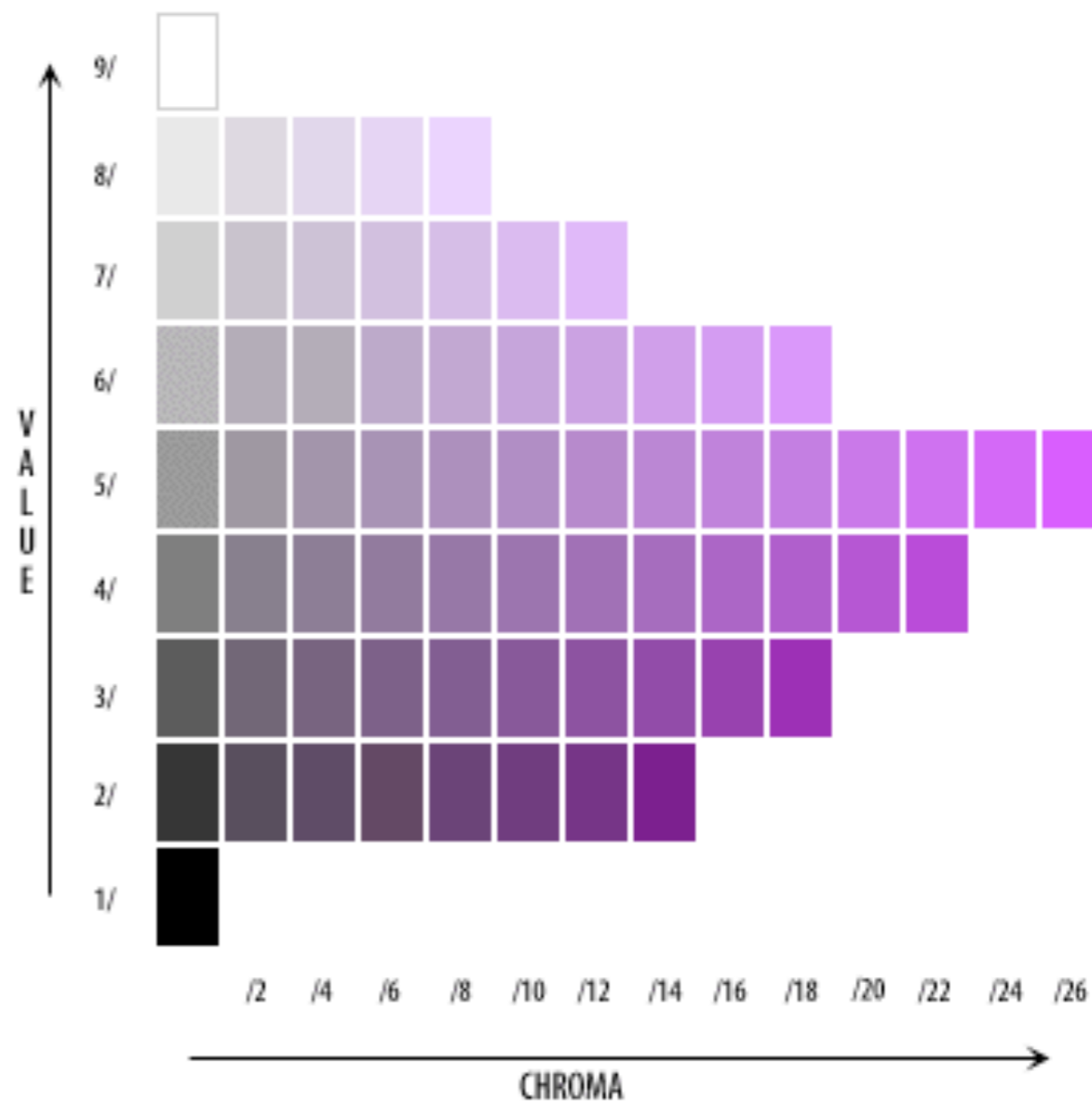
V současnosti 40 odstínových karet

Value (světlost)



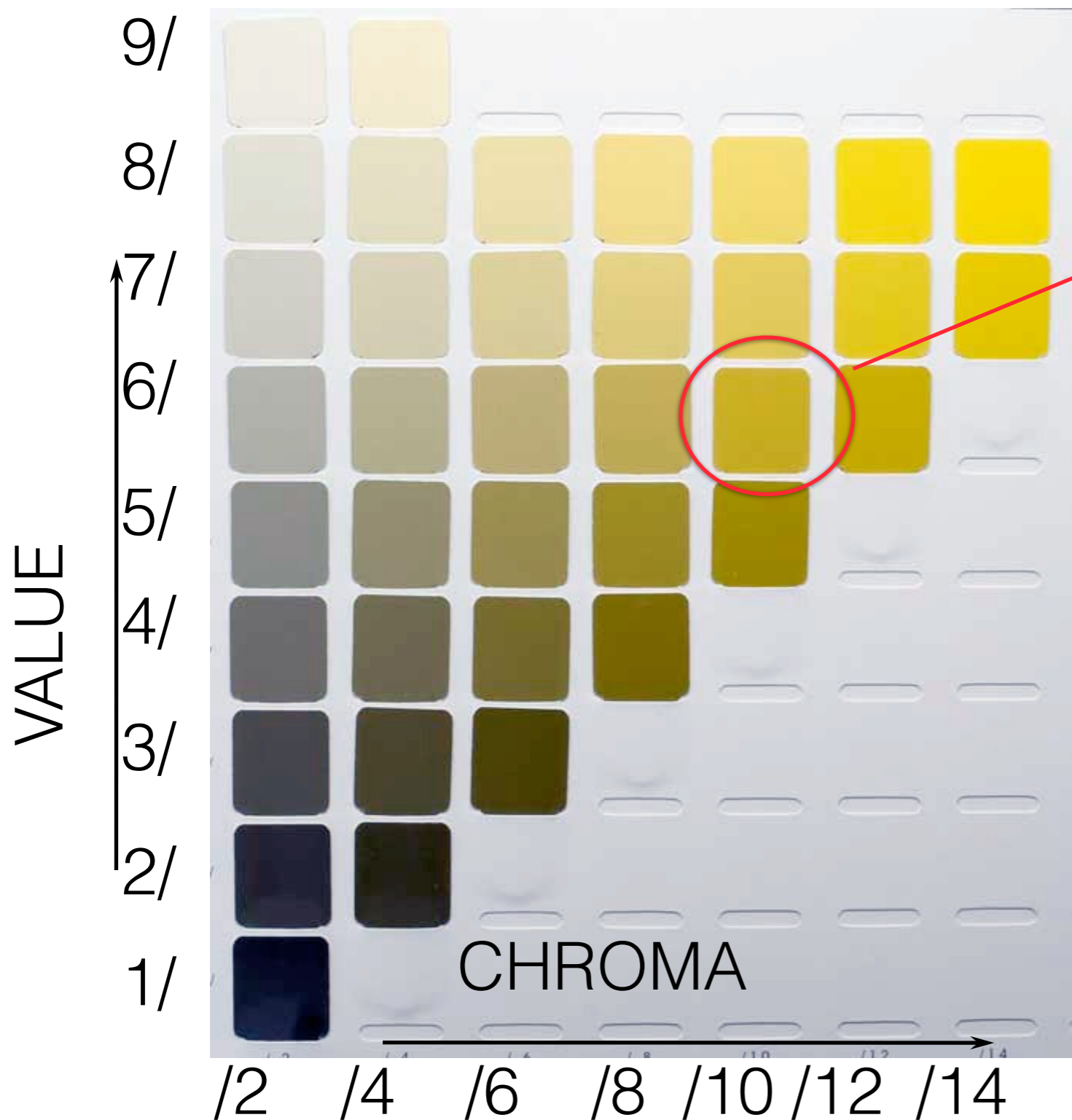
Hodnoty Value mohou být v rozsahu 0-10

Chroma (čistota)



Hodnoty Chroma mohou být teoreticky v rozsahu 0-50.

Popis barevného vjemu



10YR 6/10

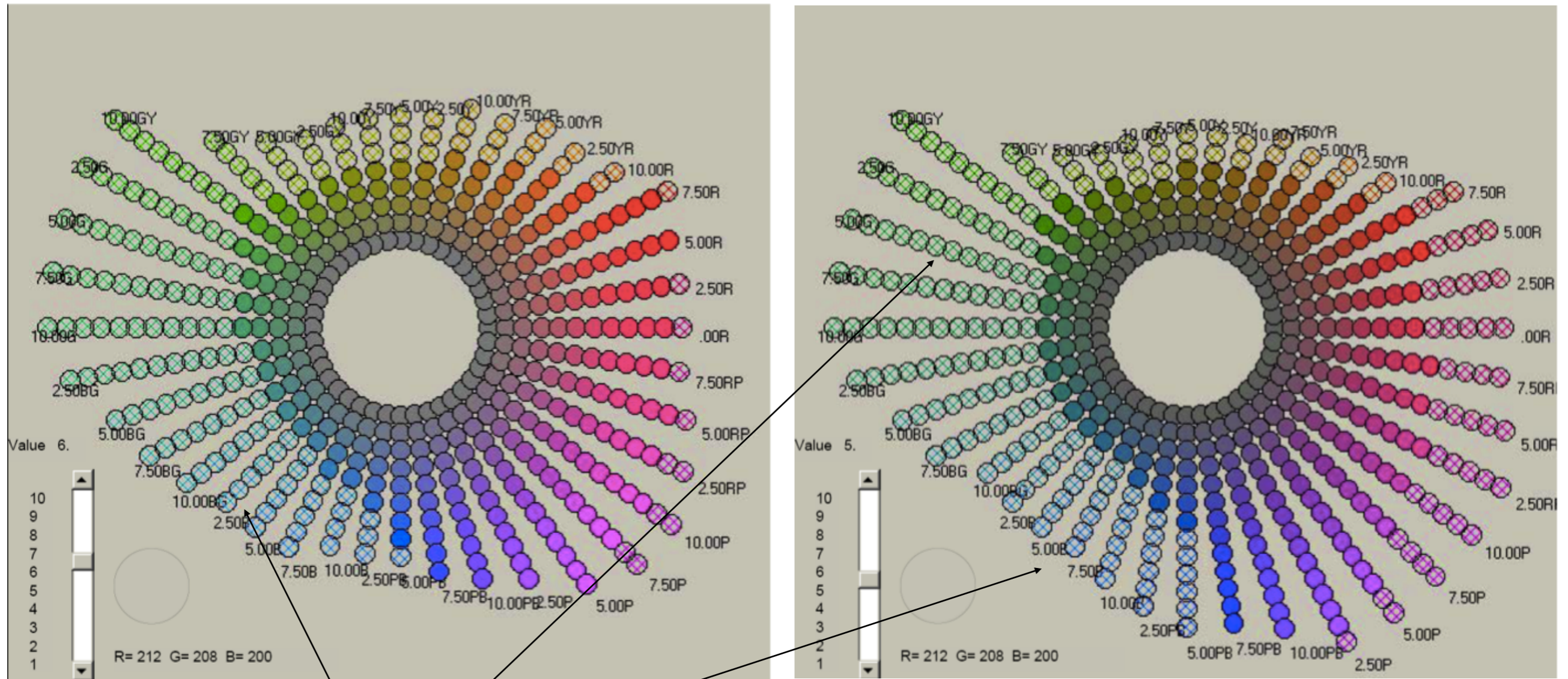


Současné edice Munsellova atlasu



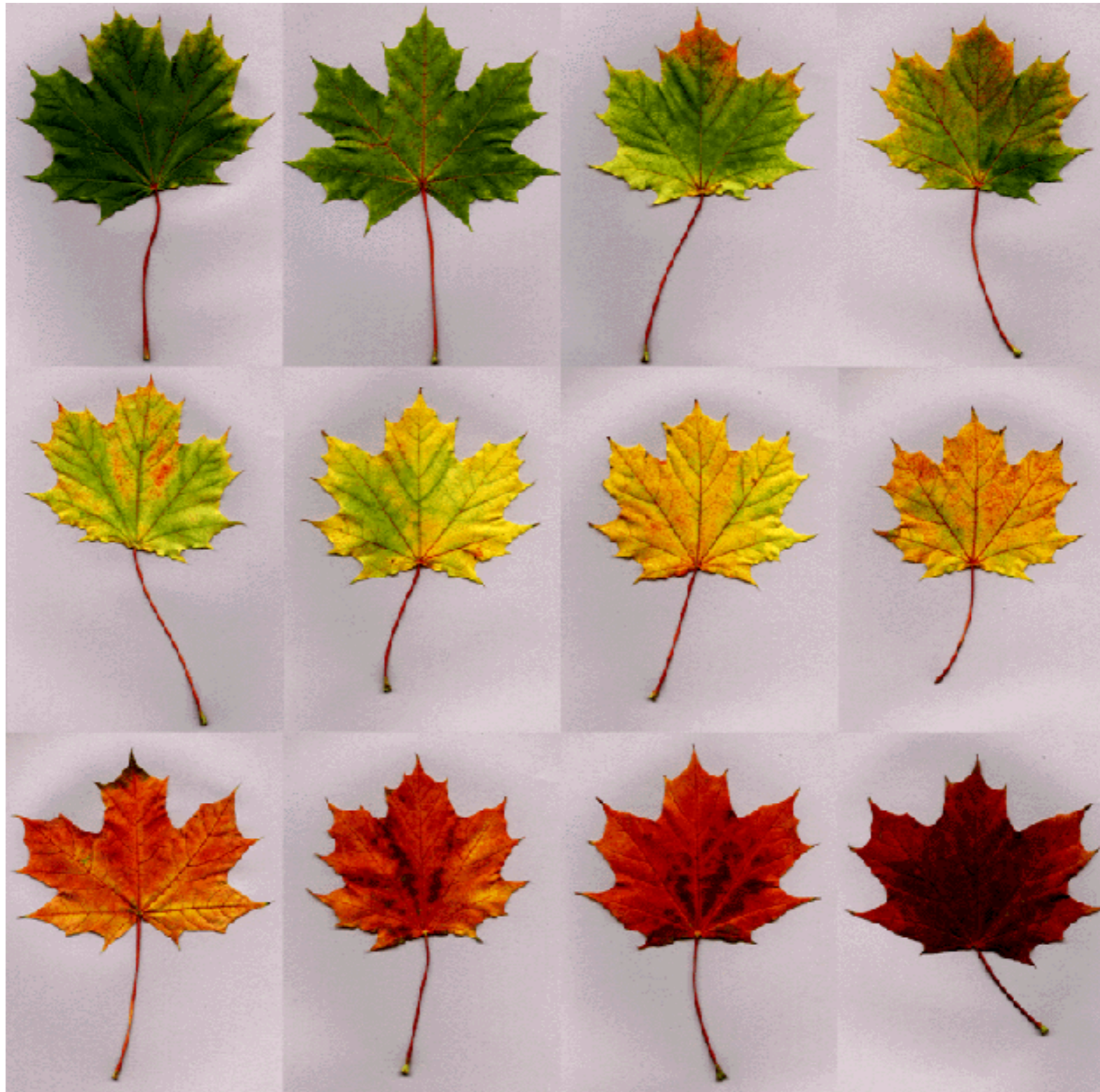
Matte Collection
1270 vzorků
Glossy Collection
1564 vzorků
Nearly Neutrals
Collection
1100 vzorků

Chromatické plochy Munsellova atlasu barev a zobrazení na CRT monitoru



Tyto odstíny (všechny vyšrafované) nejsou reálně zobrazovány na CRT nebo LCD monitorech

Natural color system



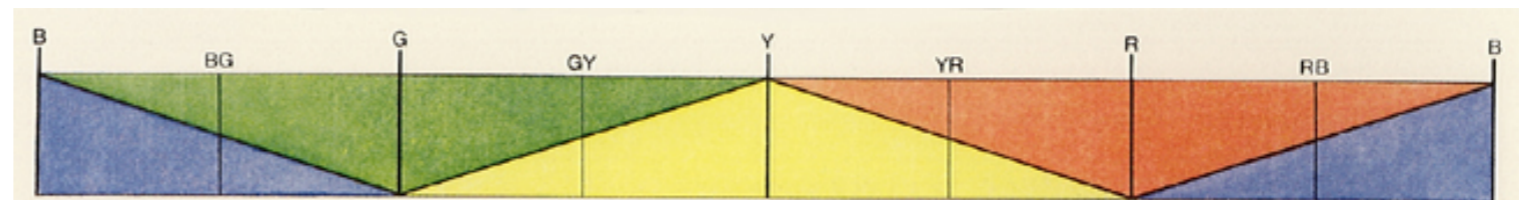
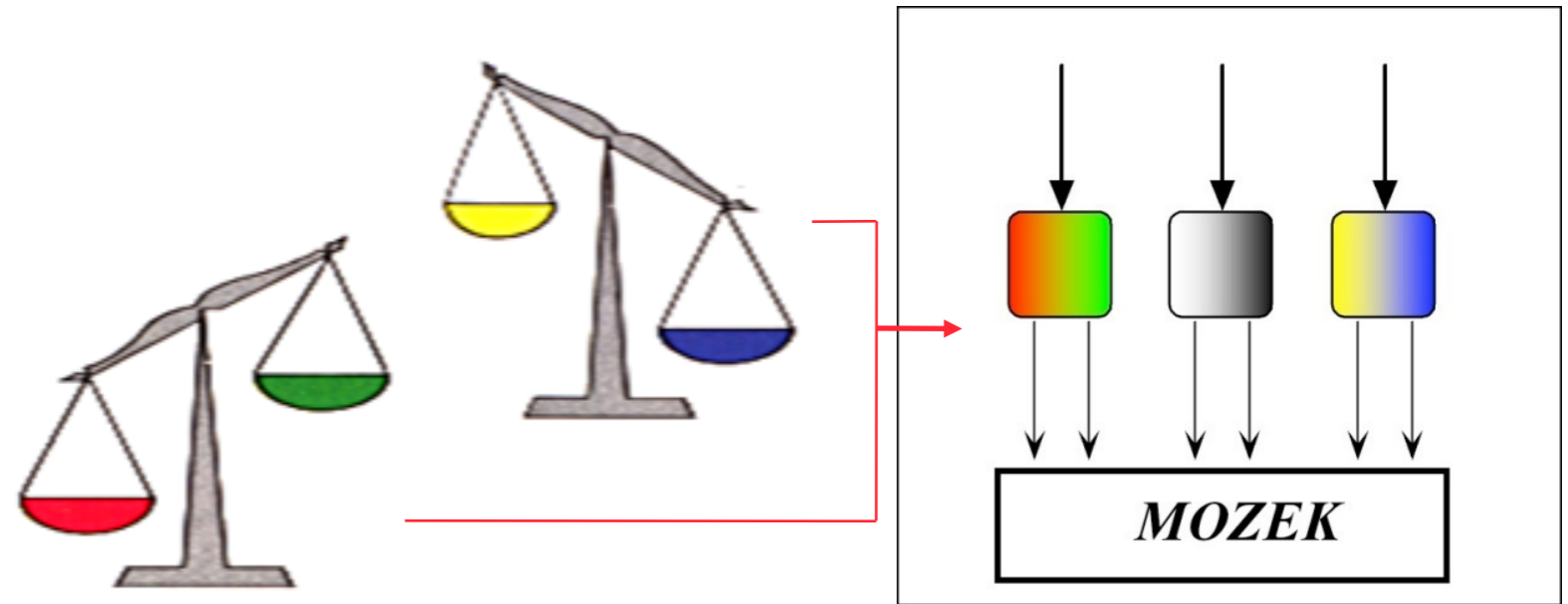
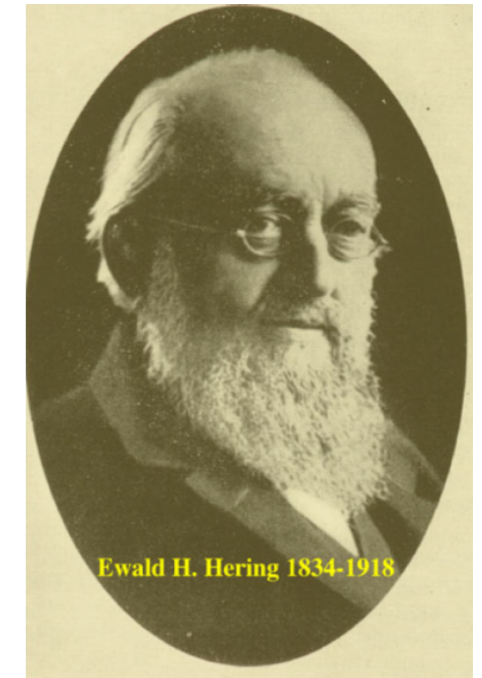
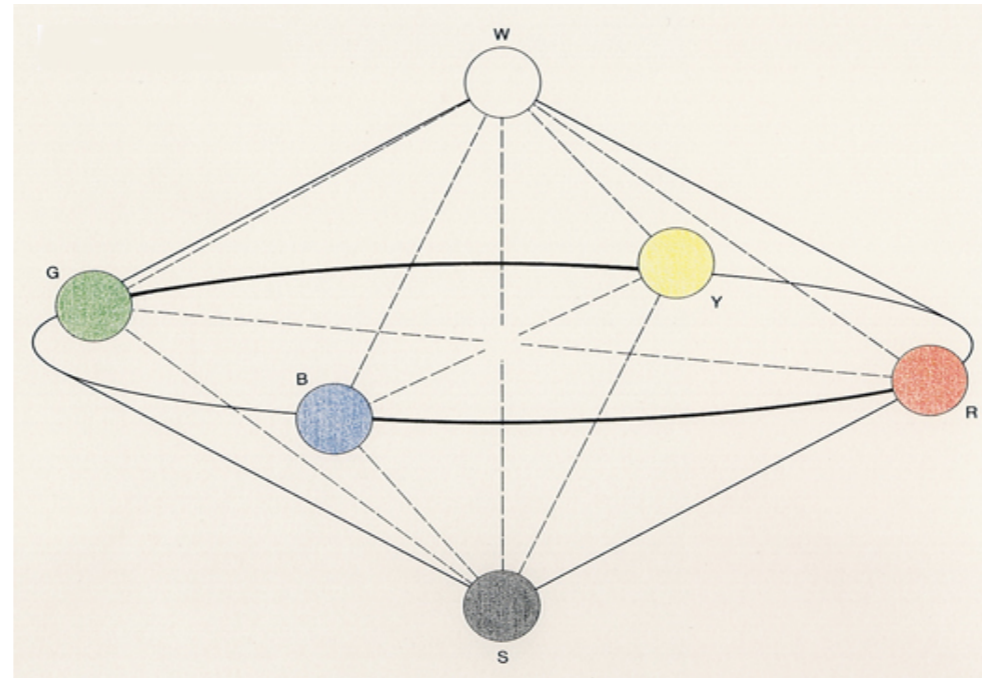
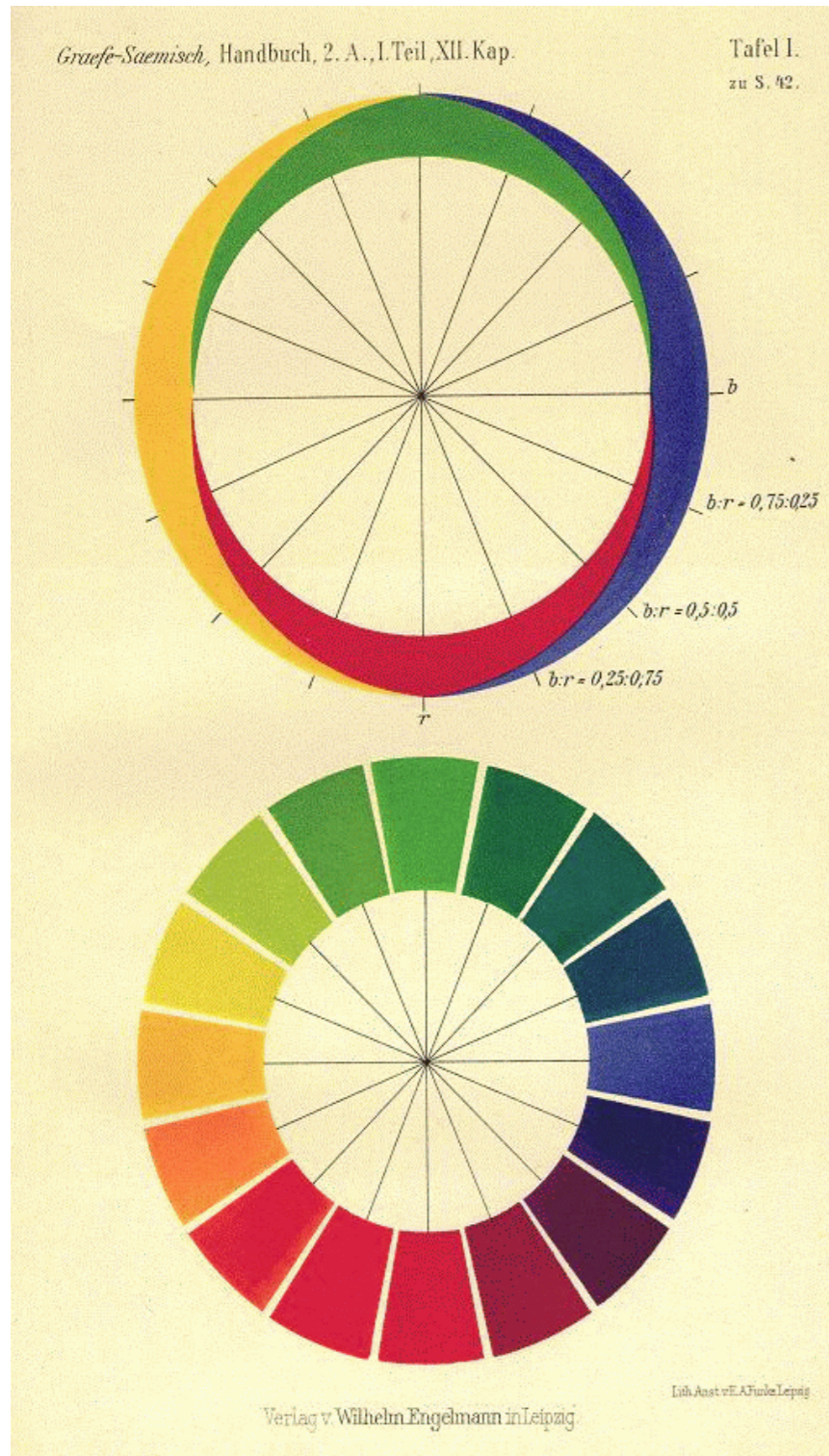


+



Karl Ewald Konstantin Hering

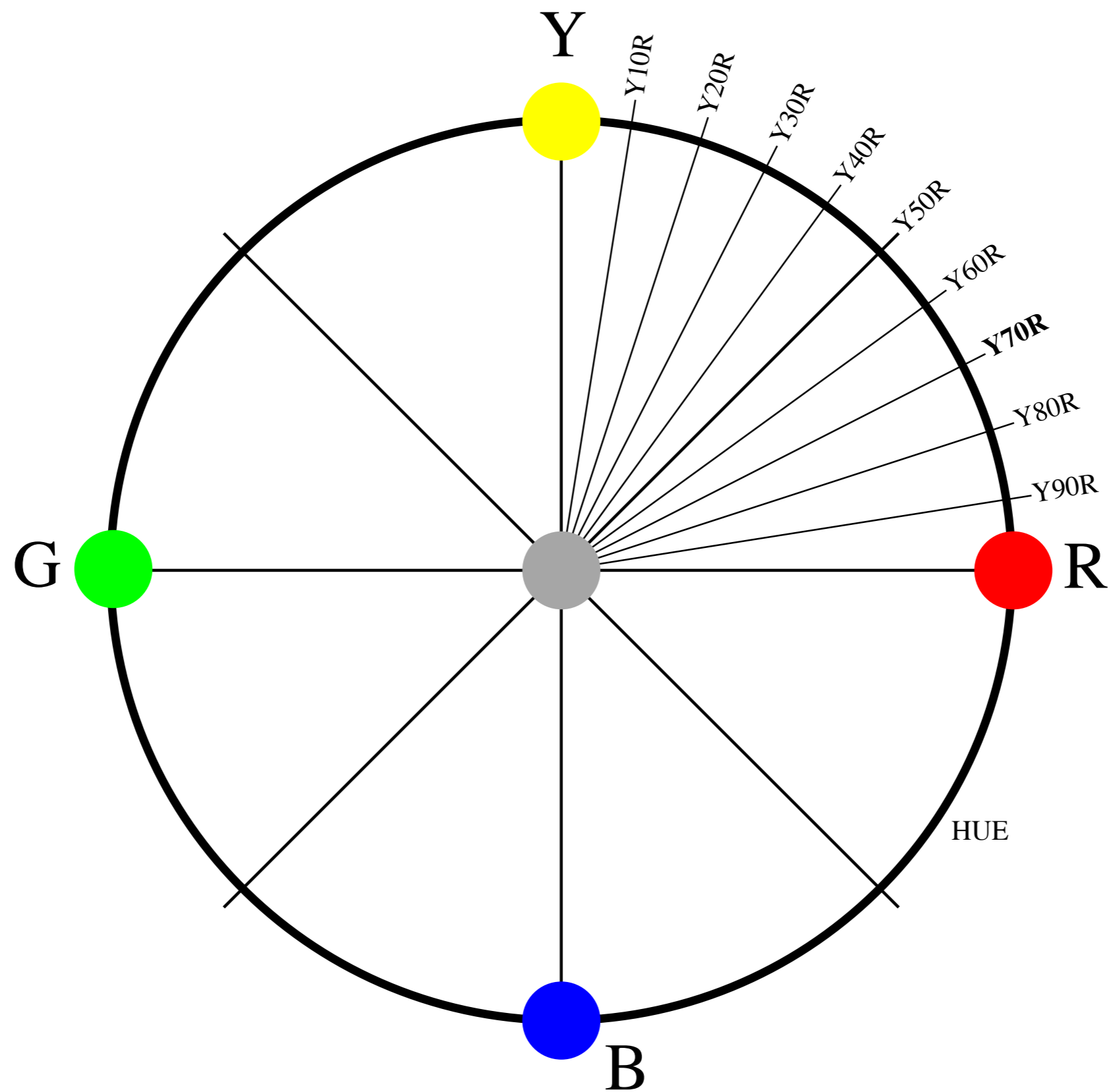
(1834-1918)



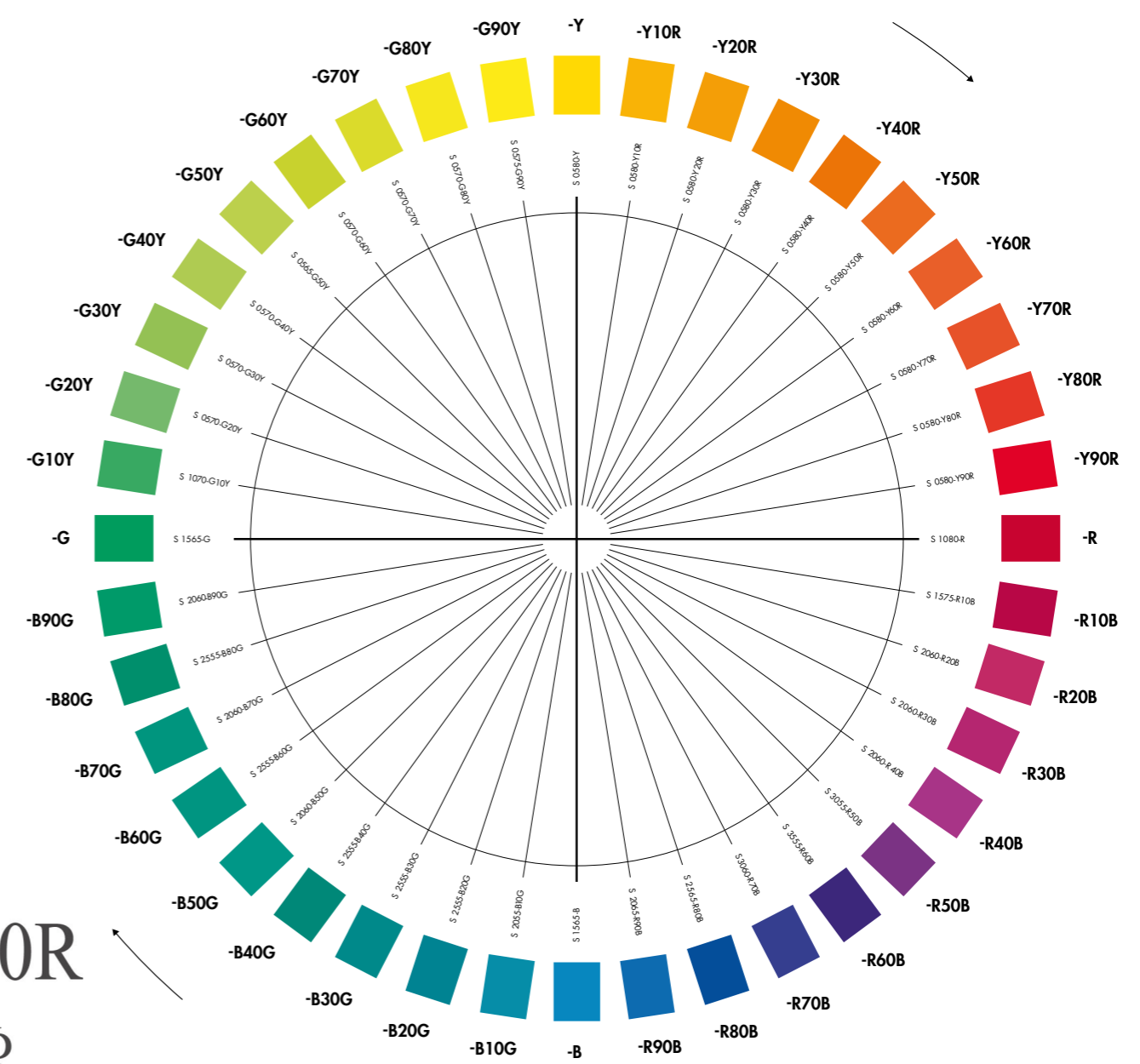
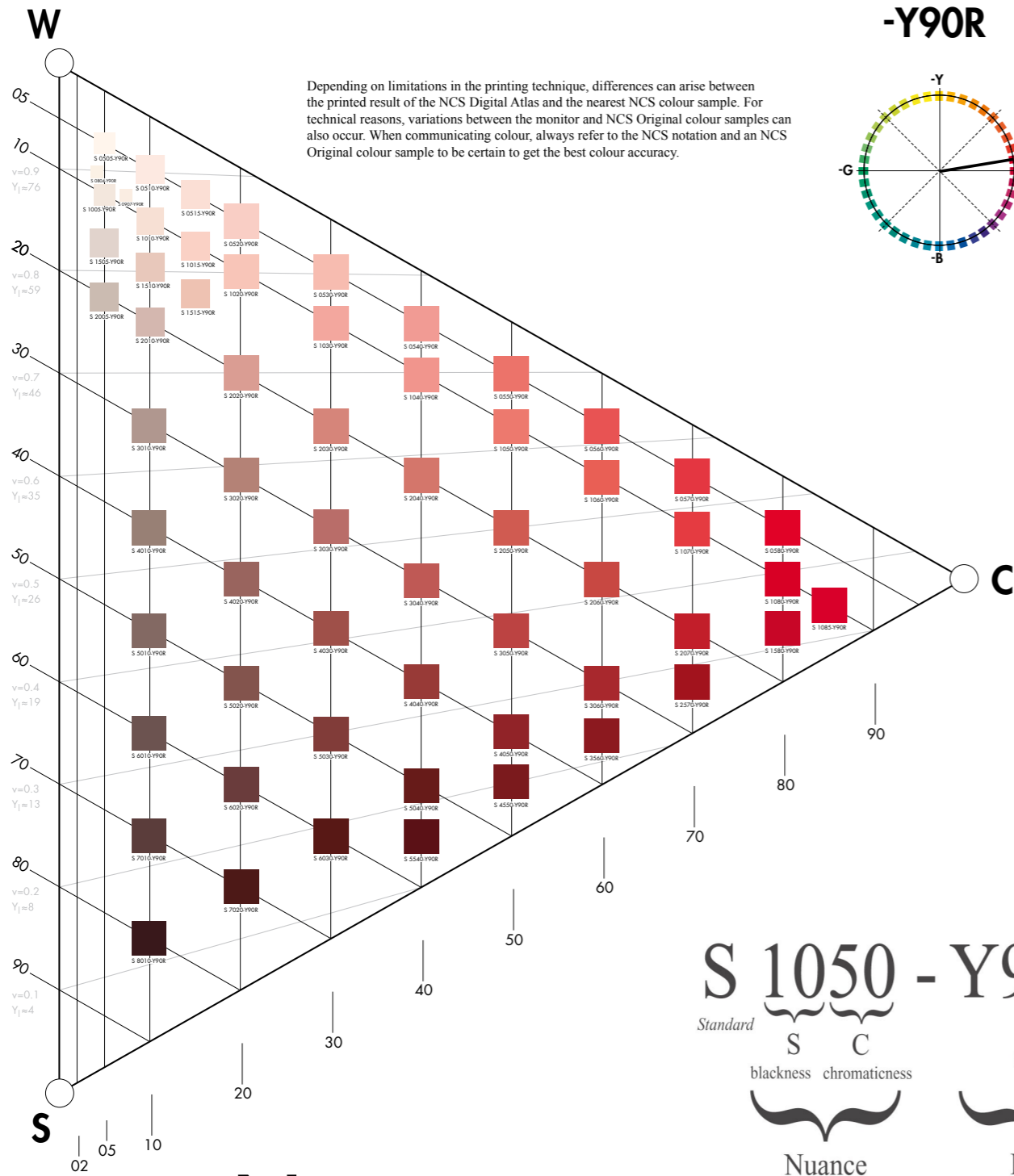
NCS - systém přirozeného uspořádání barev?



Základní členění NCS



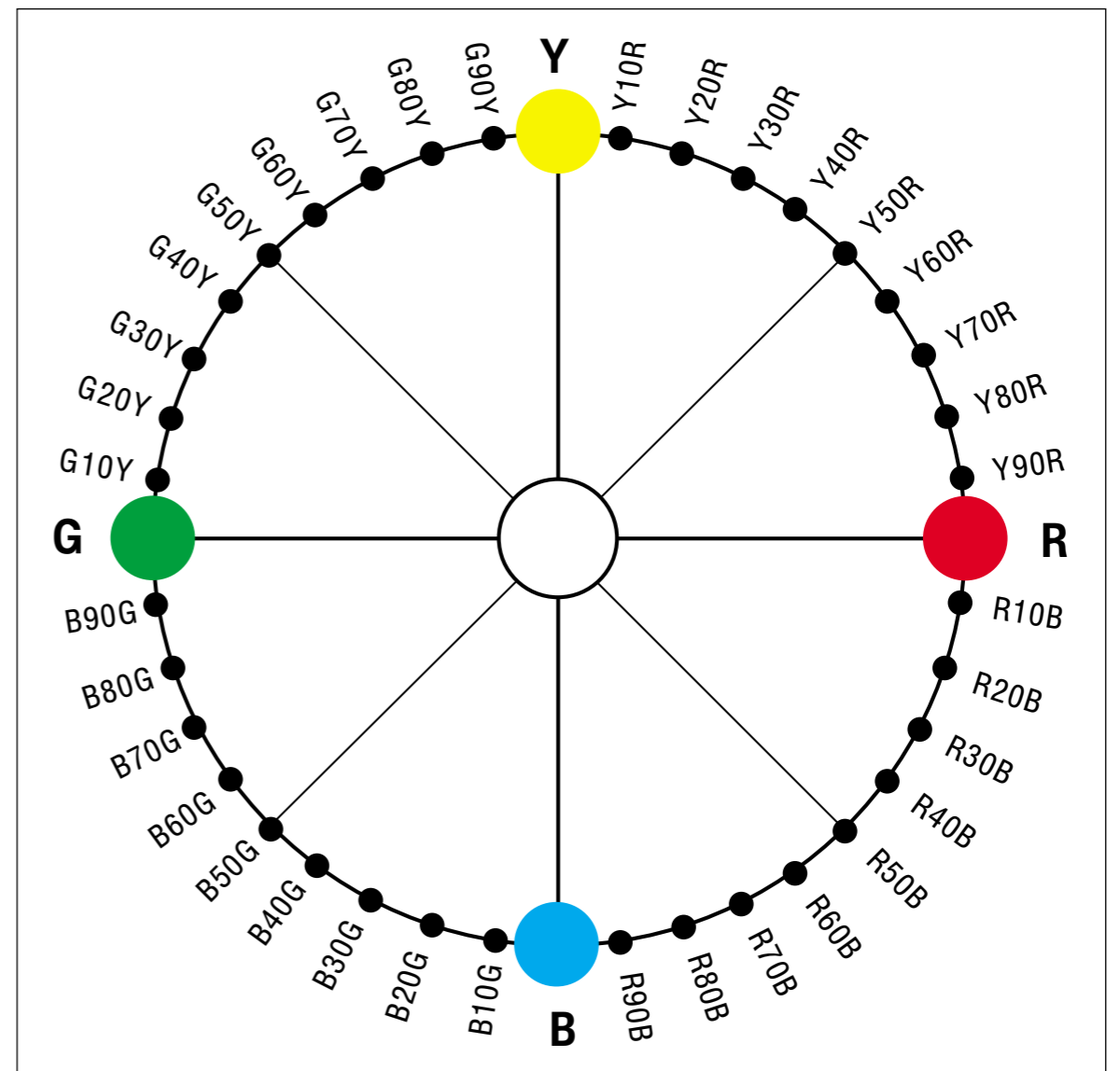
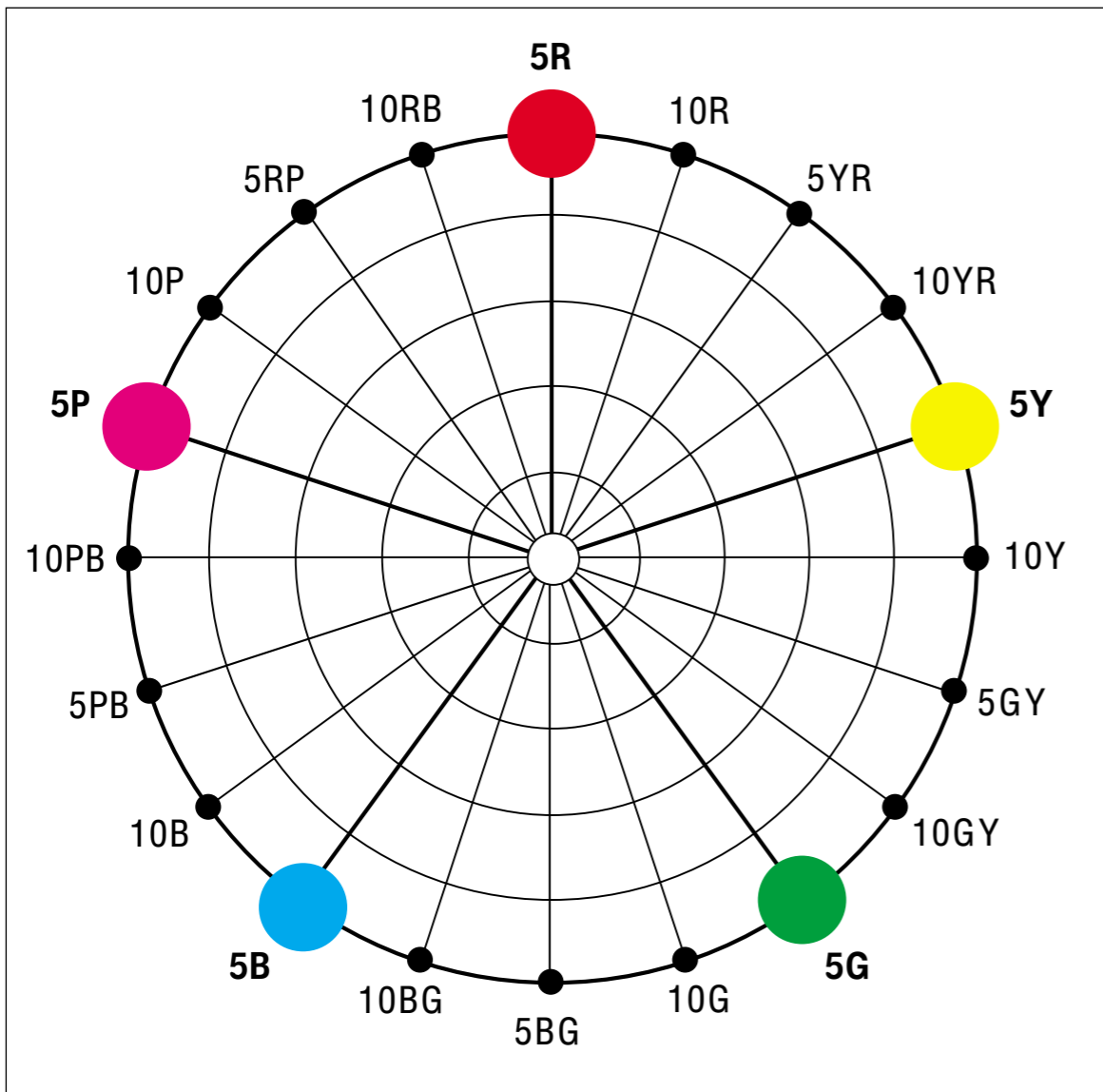
Natural Colour System I



Nuance

Hue

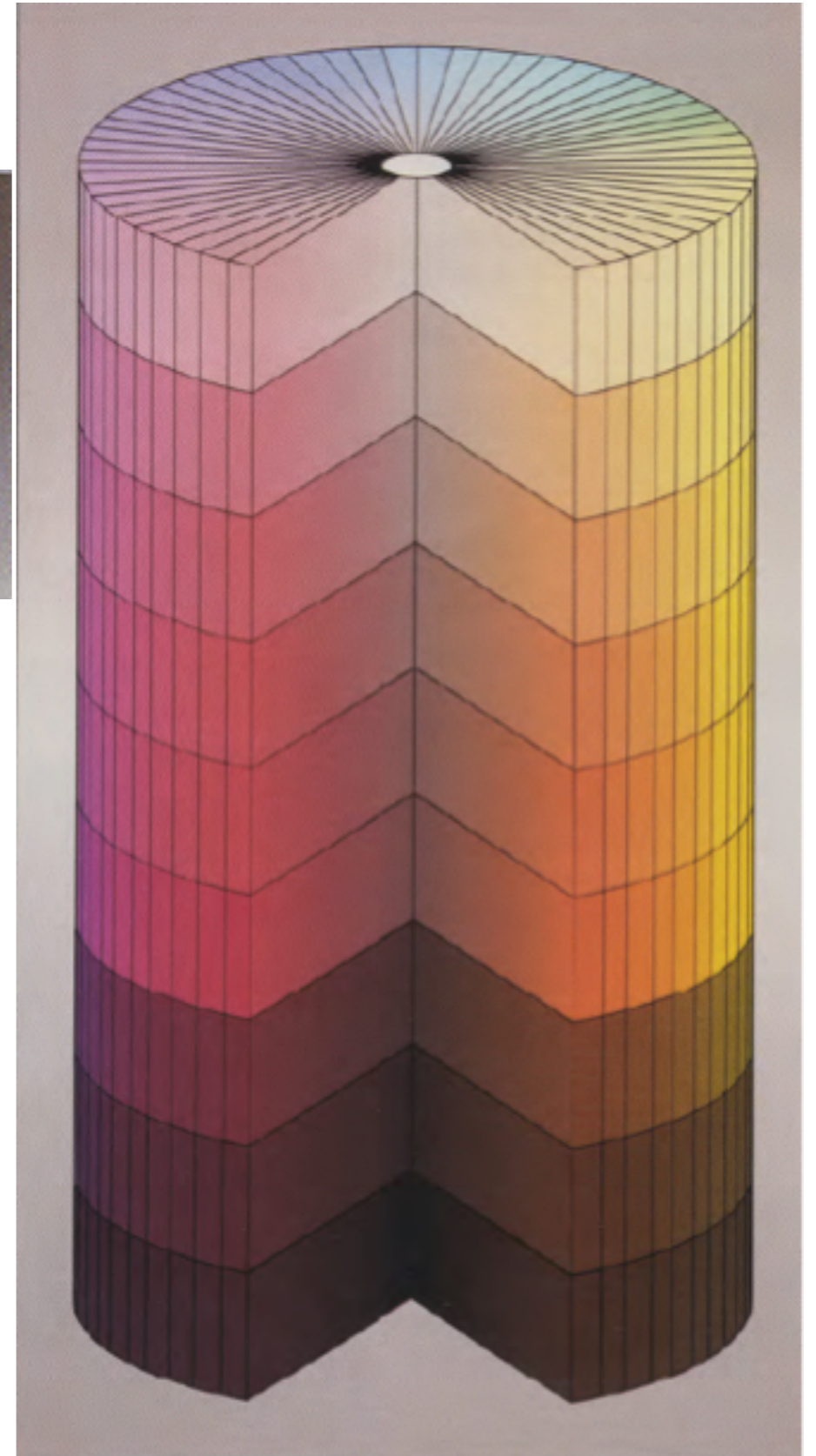
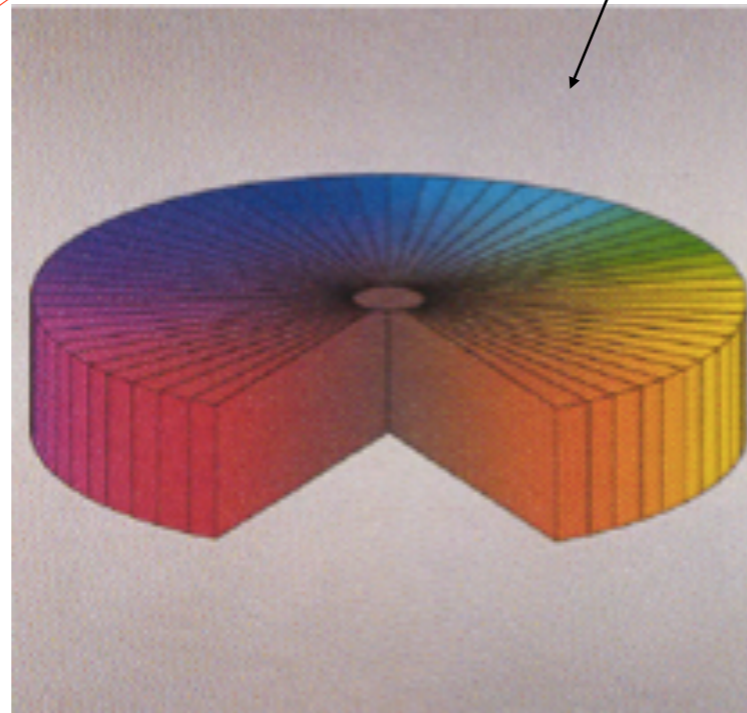
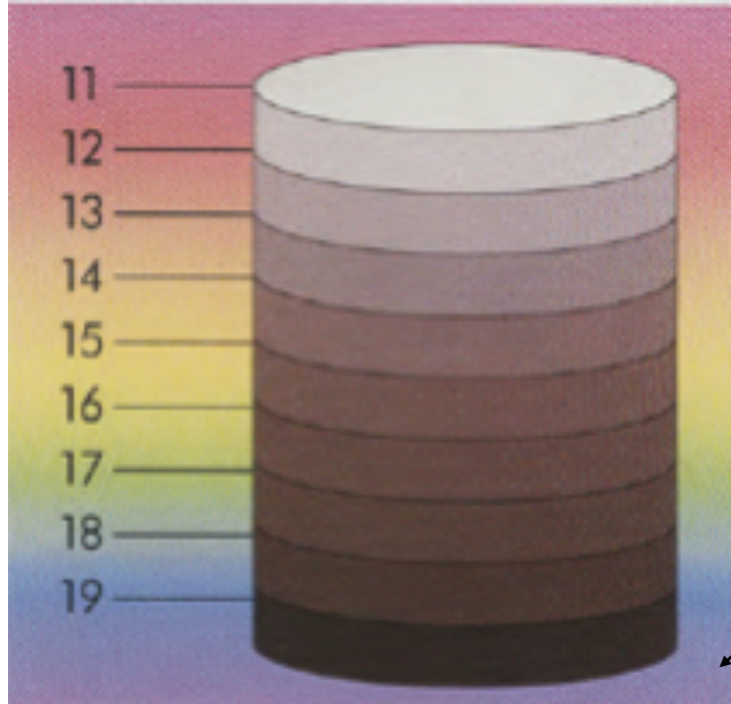
Munsell versus NCS



PANTONE



Pantone I



Pantone II

PANTONE PLASTICS Color System

Developed *in plastic for plastics*, to ensure successful selection, specification and control of colour in plastics.



CONFIDENCE

In the accuracy and reliability of colour decisions

CREATIVE FREEDOM

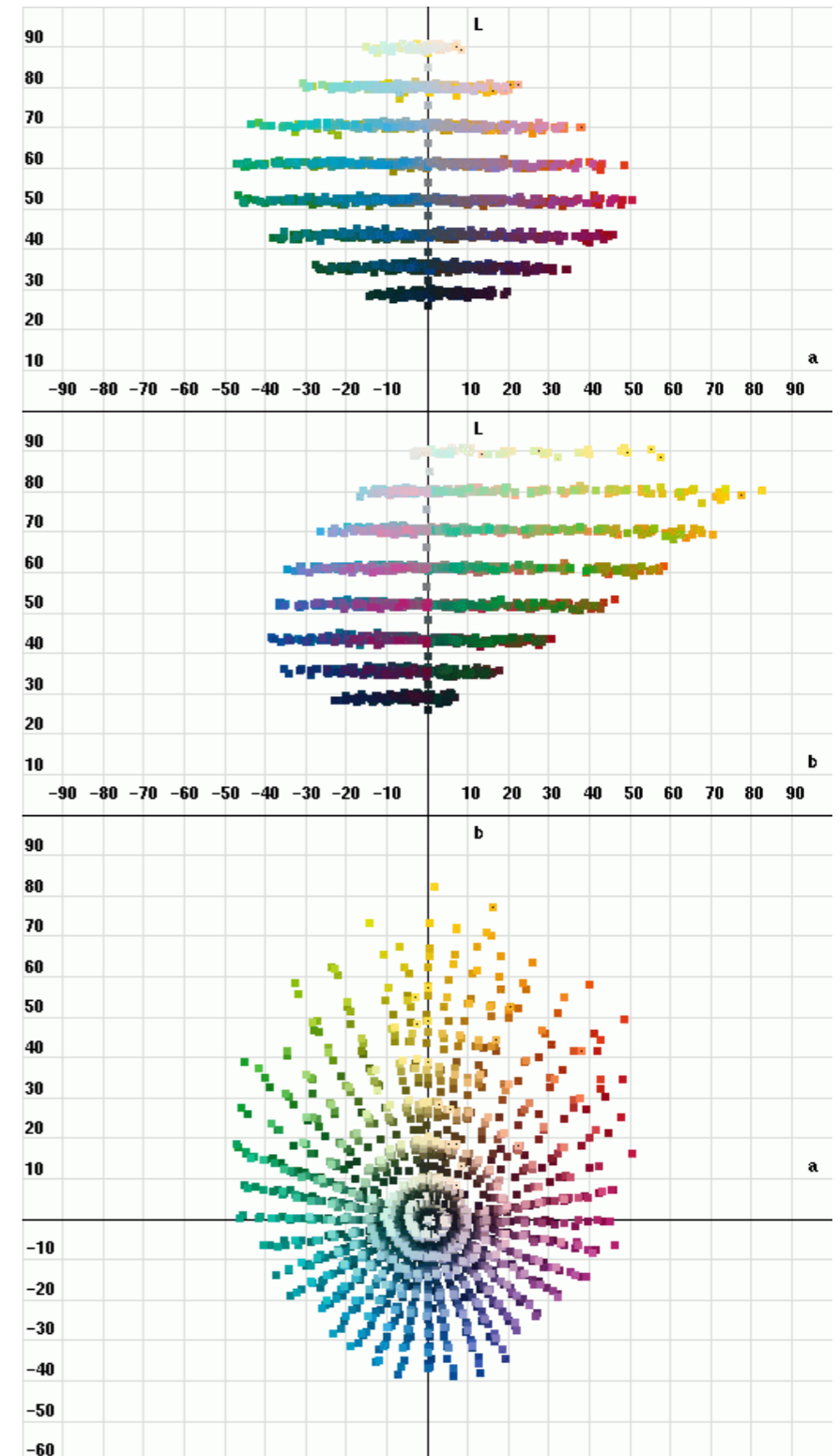
Supplied by 2,820 colours in plastic

COMMUNICATION

At last designers, manufacturers and colourant suppliers have a common language of colour

NO MORE:

Guesswork
Second bests
Costly trial and error
Missed deadlines
Matching from paper to plastic



Pantone III

KEY COLORS FALL/WINTER 2007/8



19-0000 TC



19-0814 TC



19-3617 TC

17-1502 TC

14-4203 TC

19-3920 TC



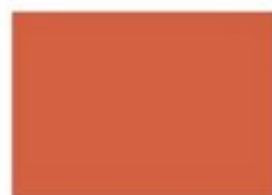
11-0105 TC



14-1310 TC



19-1530 TC



18-1454 TC



18-3715 TC



15-1306 TC



15-0743 TC



17-0636 TC



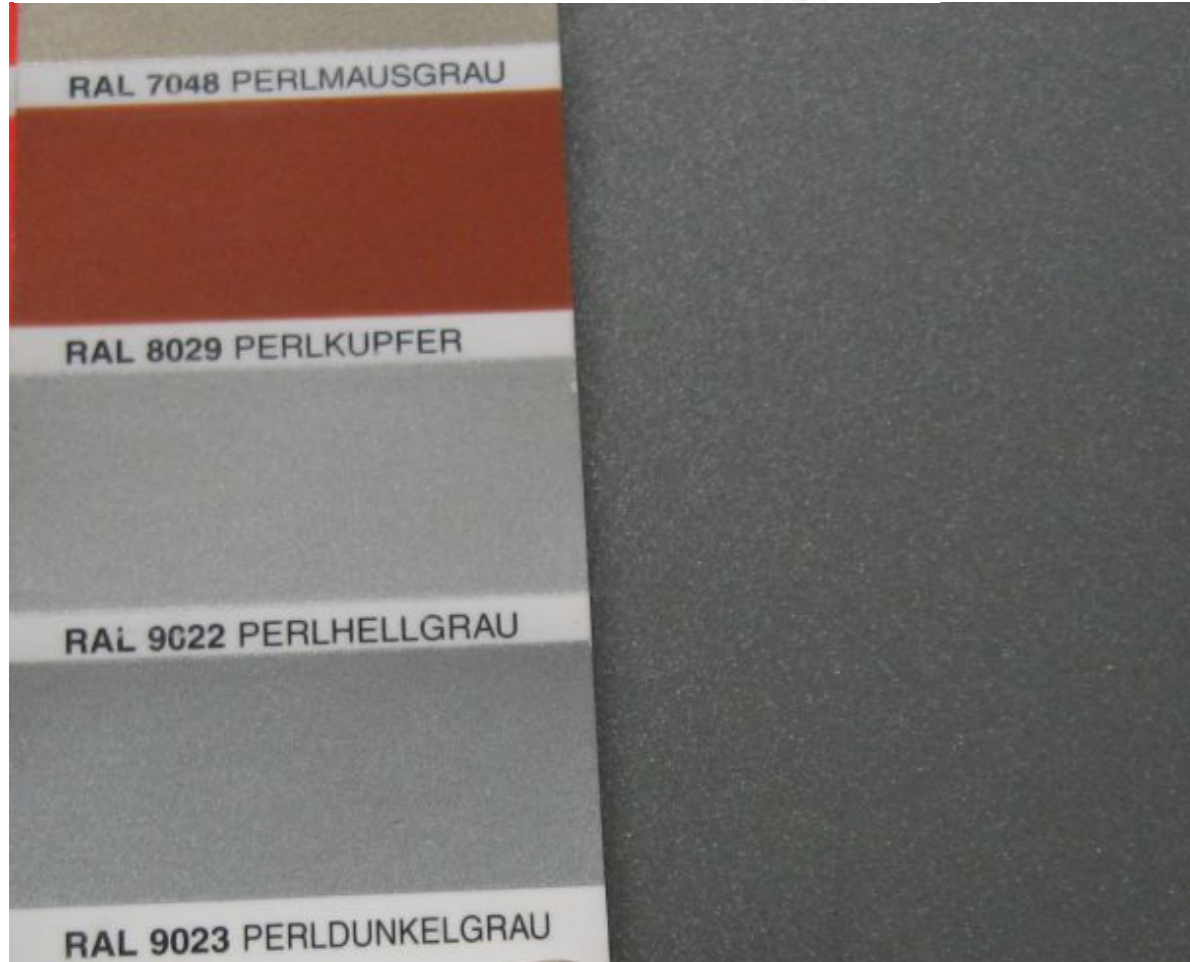
17-2624 TC



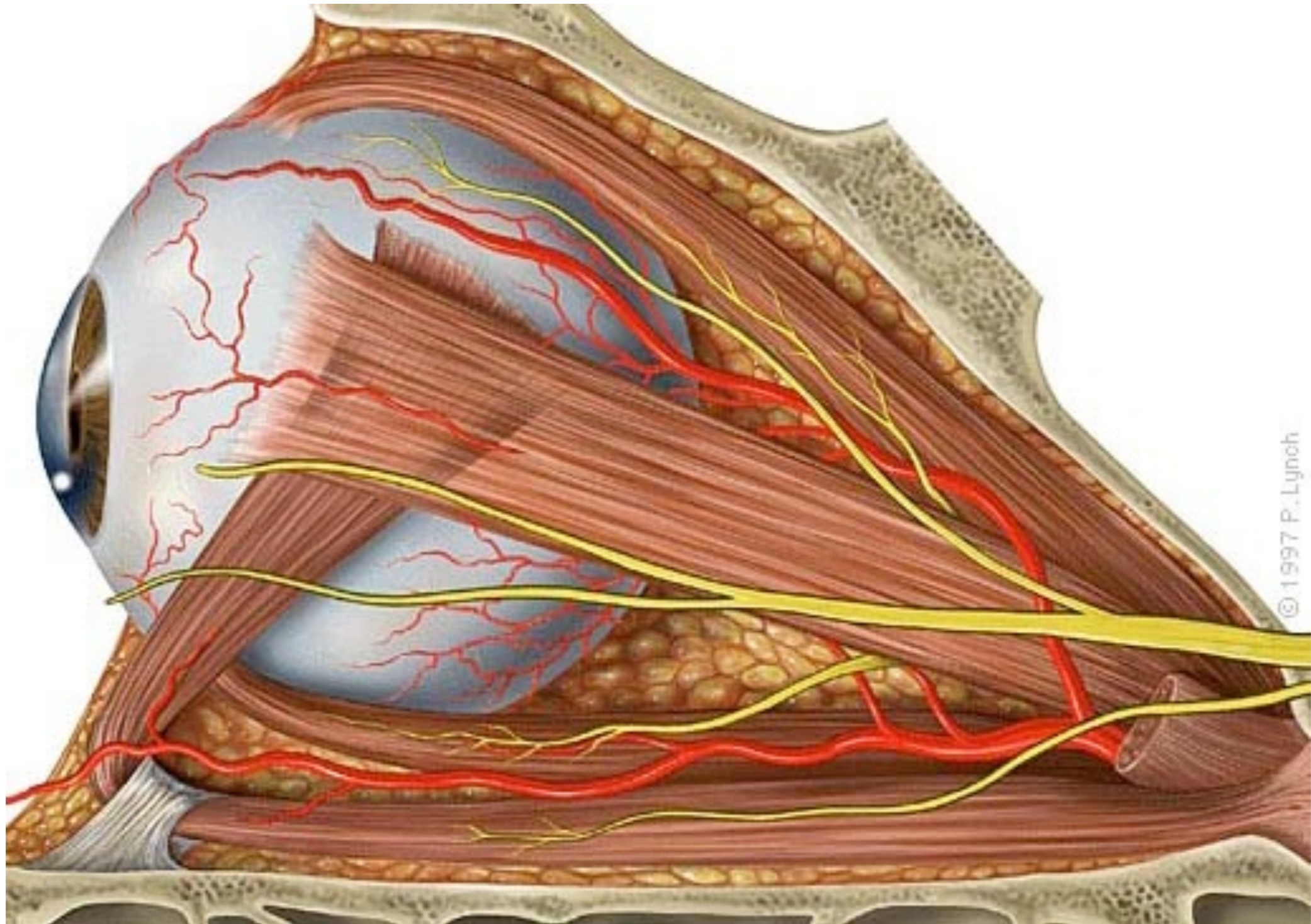
RAL I



RAL II

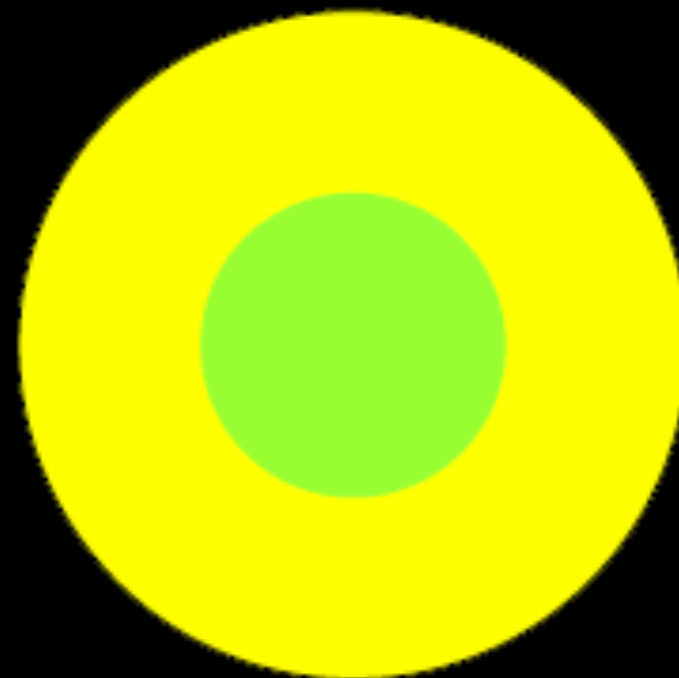
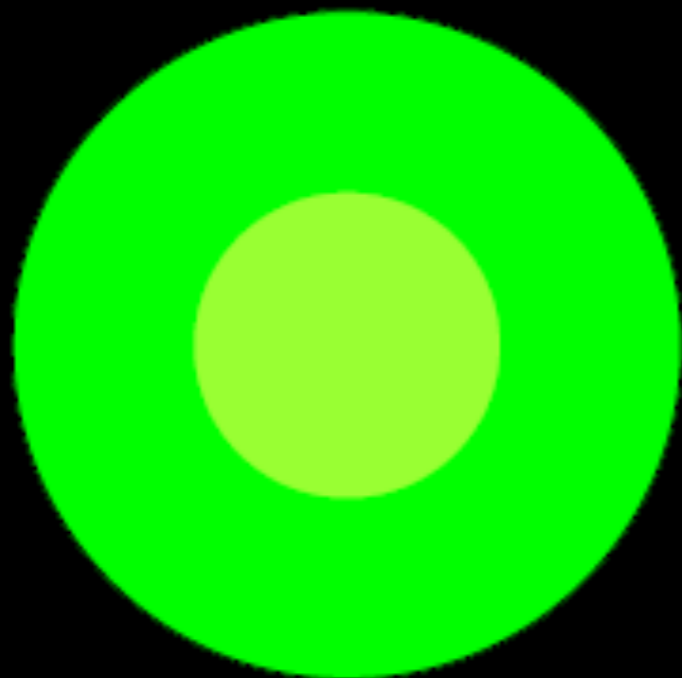


Fyziologie vnímání barev



Příklady vizuálních iluzí: Vliv barvy pozadí I

- Jsou tyto kruhy barevně shodné?



Příklady vizuálních iluzí: Vliv barvy pozadí II

- Jsou tyto kruhy barevně shodné?

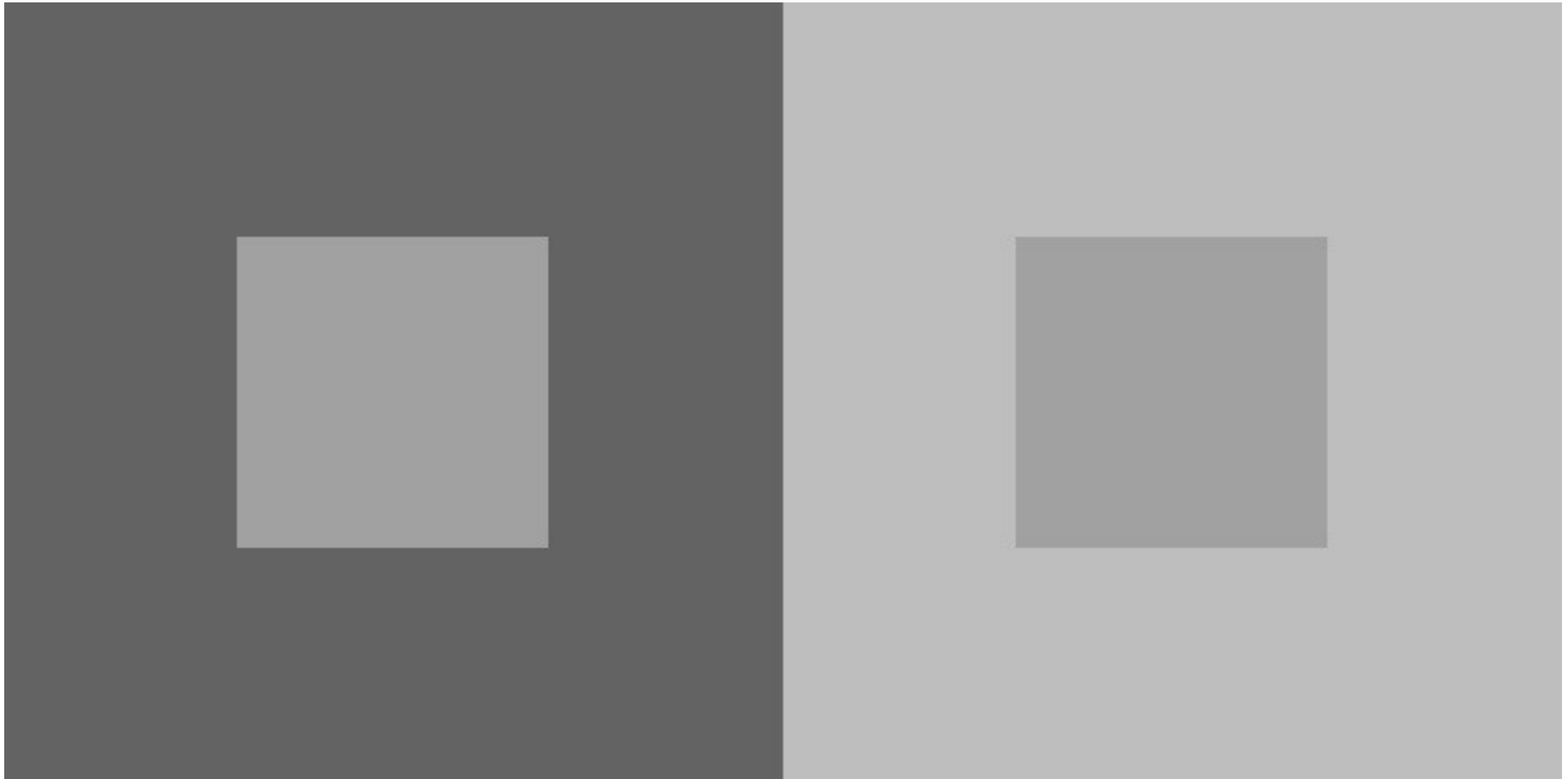


Příklady vizuálních iluzí: Vliv barvy pozadí III

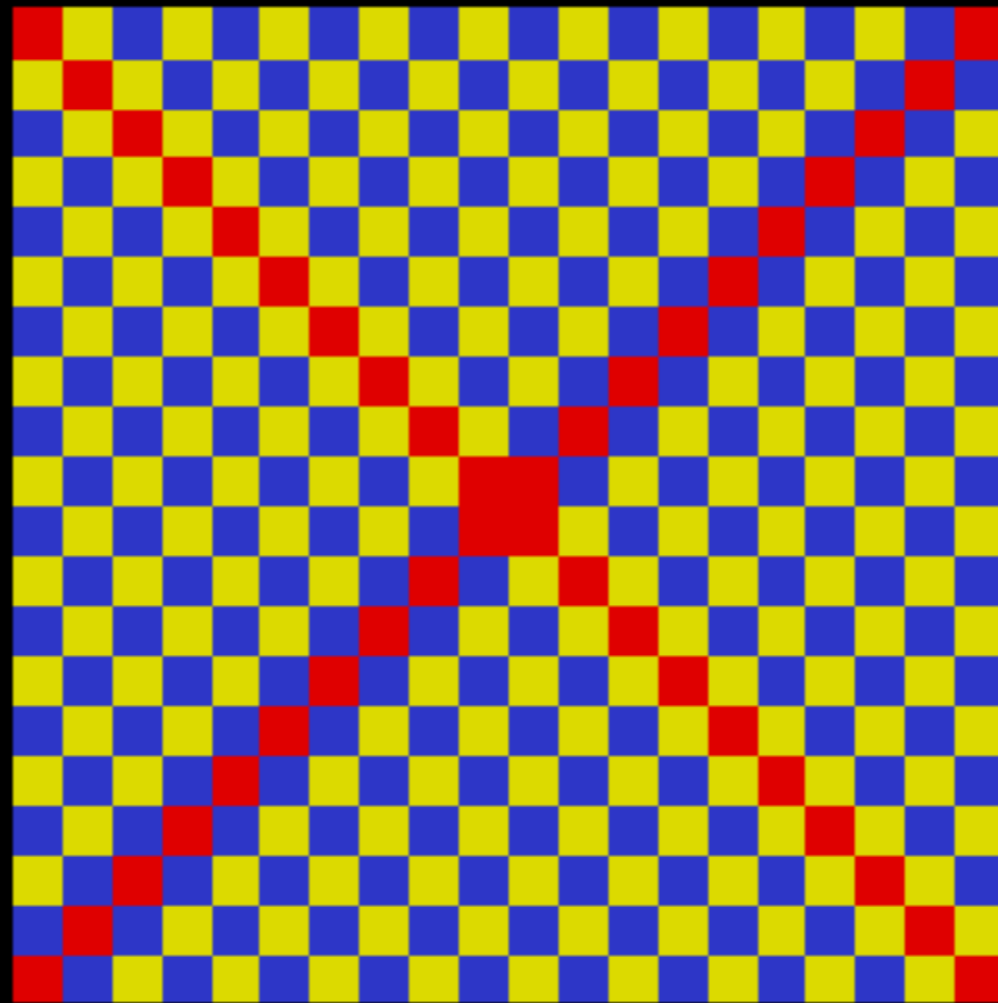
- Jsou tyto kruhy barevně shodné?



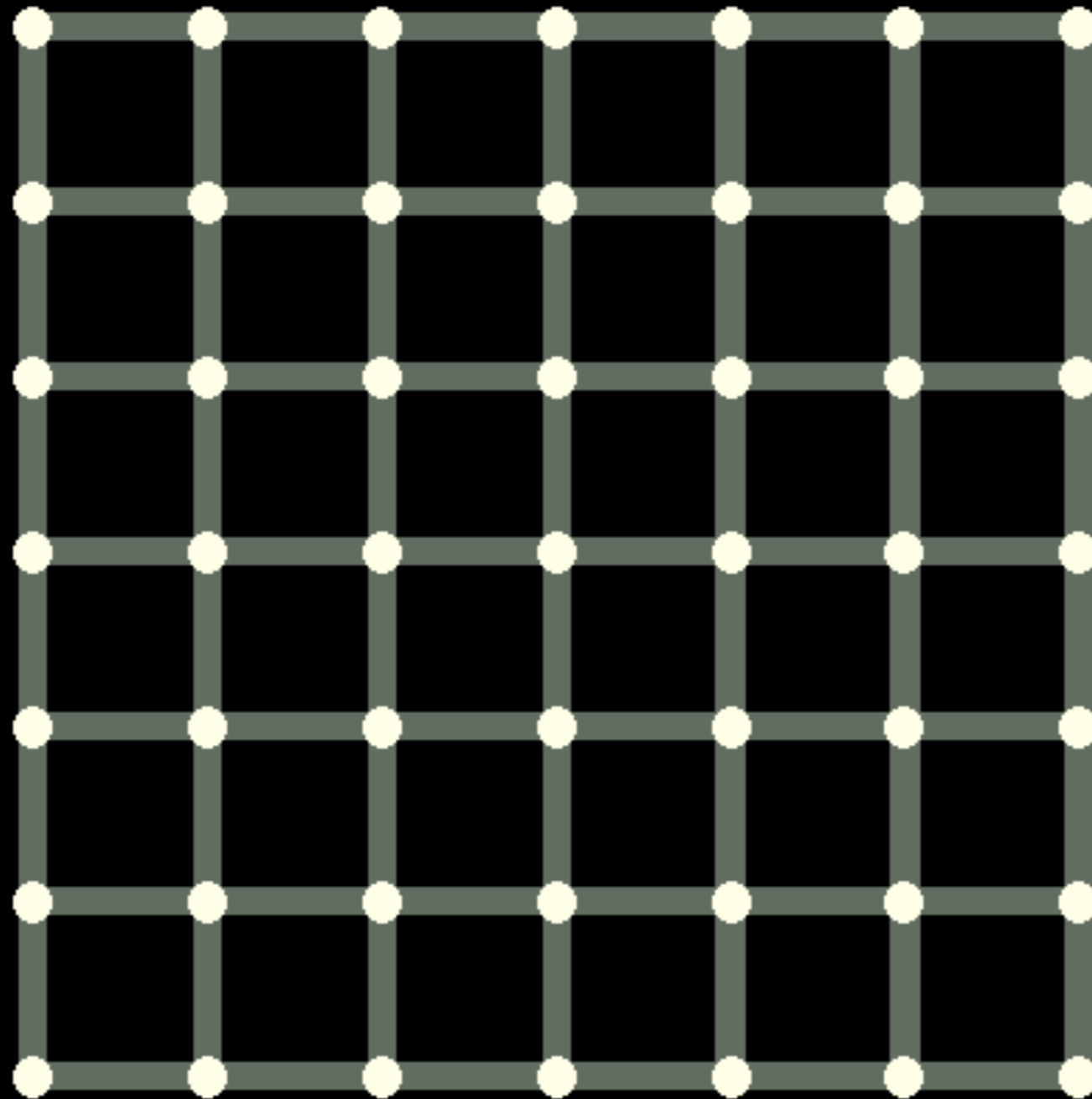
Achromatický simultánní kontrast



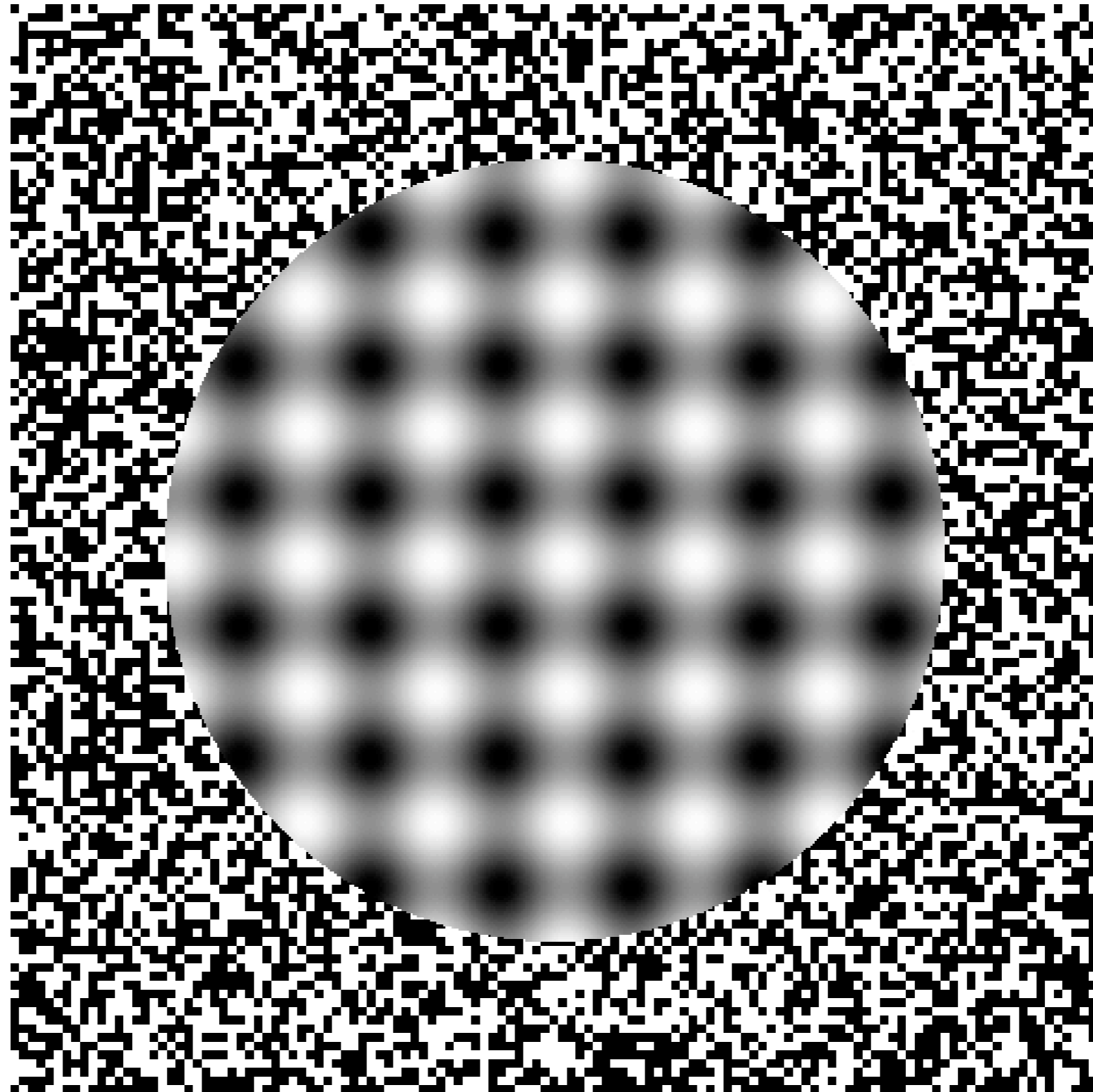
Barevná asimilace I



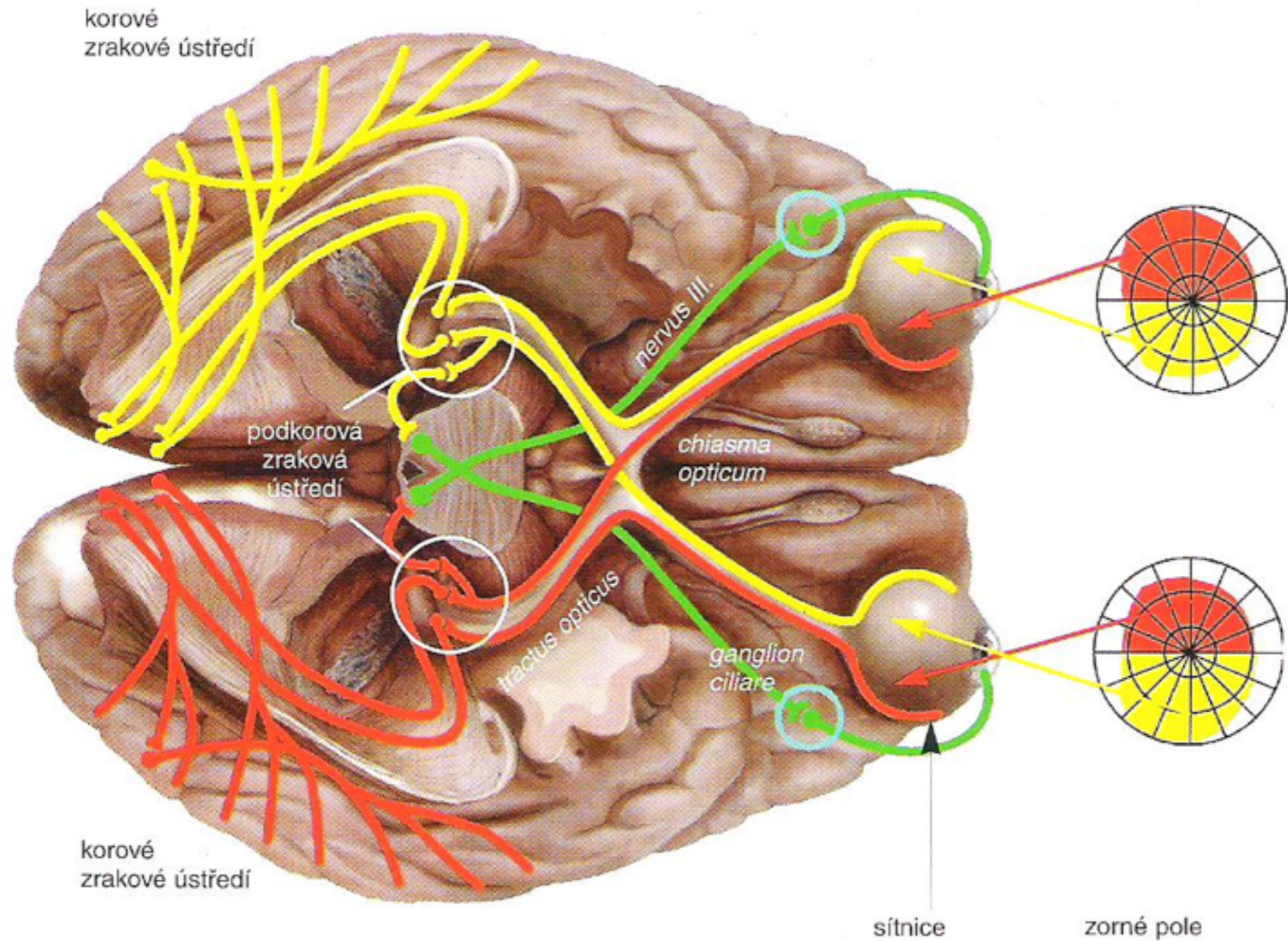
Vizuální iluze – kinezie



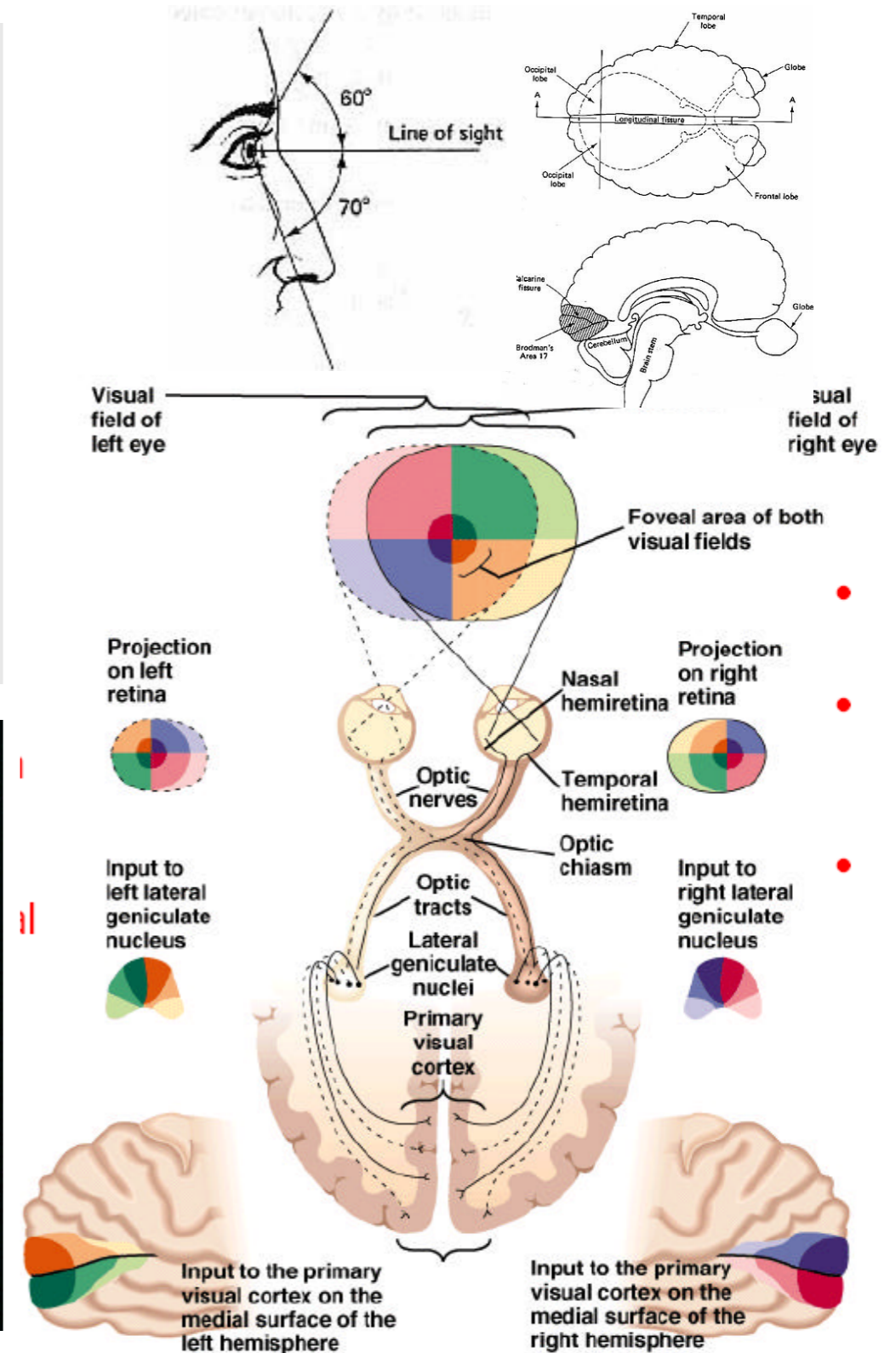
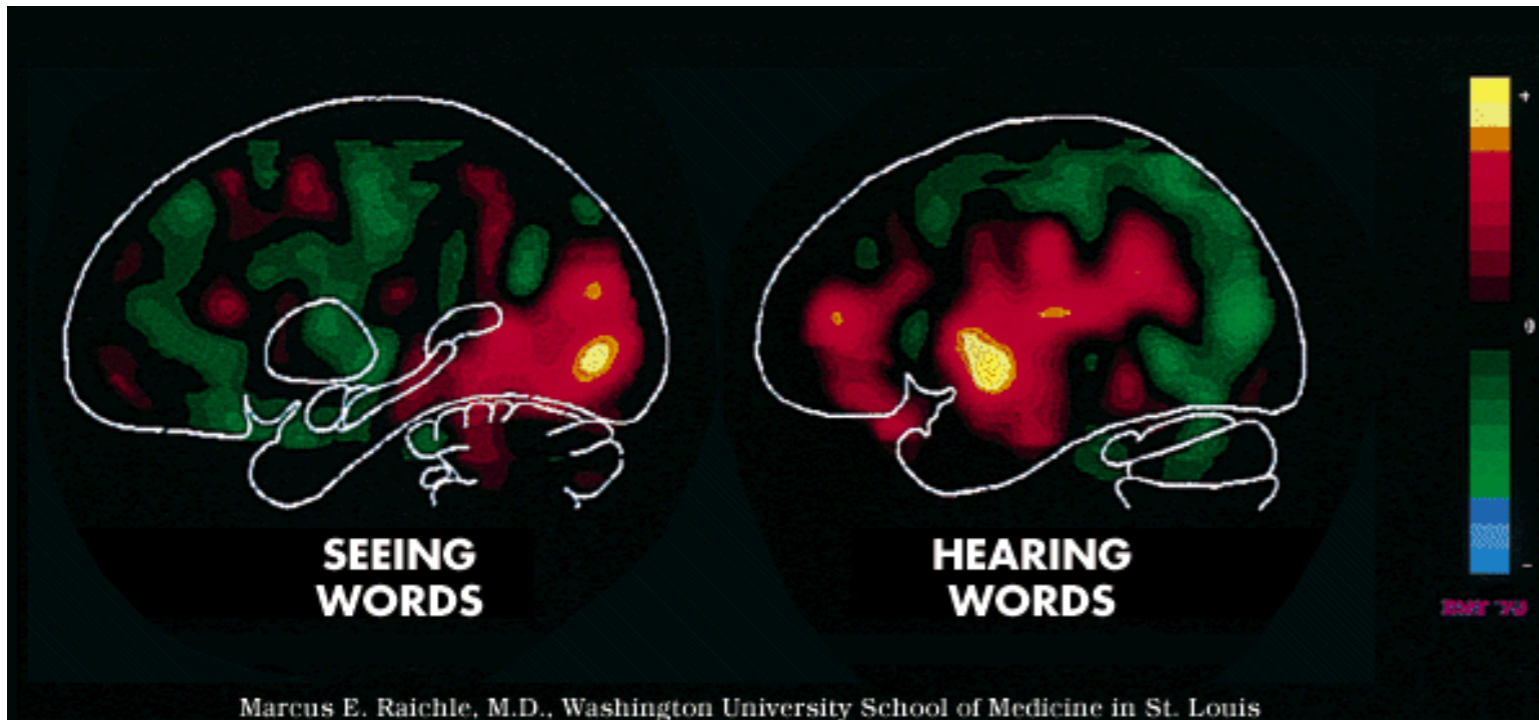
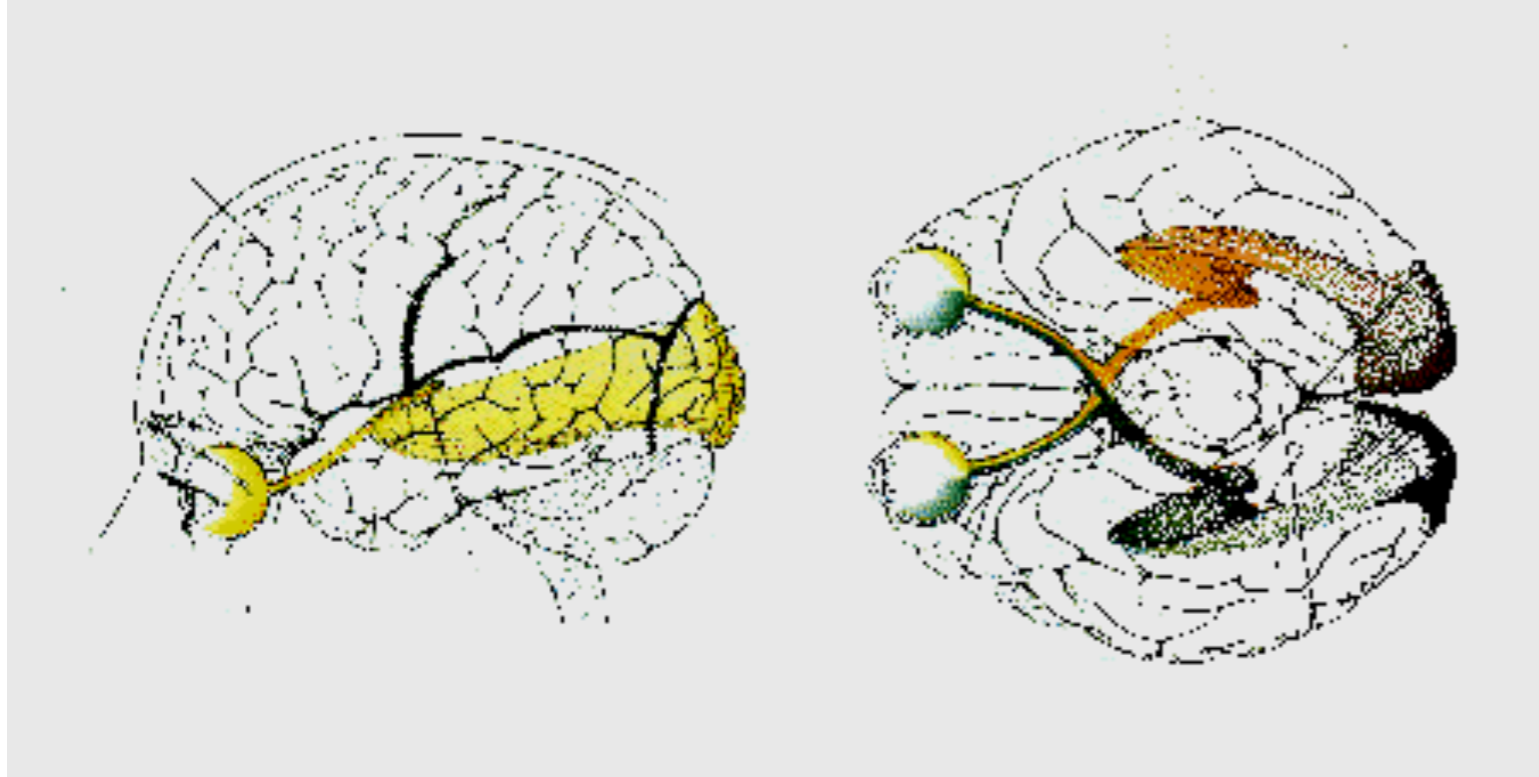
Vizuální iluze – kinezie



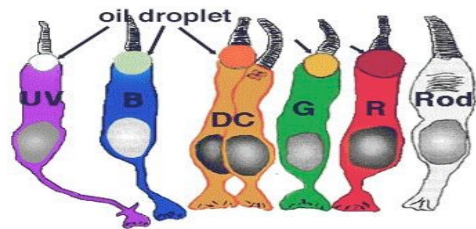
Zrak



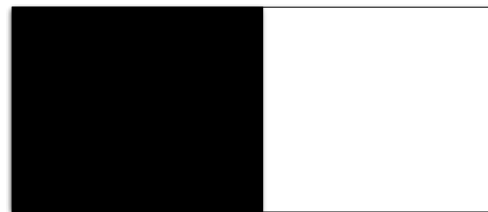
Součásti vizuálního systému



Oko jako receptor záření



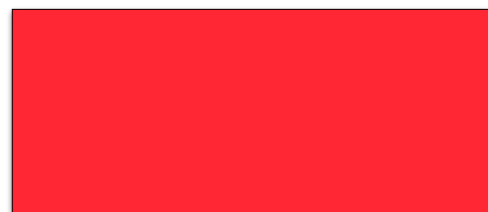
- obsahuje dva druhy fotoreceptorů :
cca 120 miliónů tyčinek, citlivost : 1725 Im W^{-1}
cca 6 miliónů čípků, citlivost : 673 Im W^{-1}



- je schopno se adaptovat na široké rozmezí jasu od 10^{-6} do 10^8 cd.m^{-2}



- vnímá elektromagnetické záření přibližně v oblasti od 380 do 760 nm.

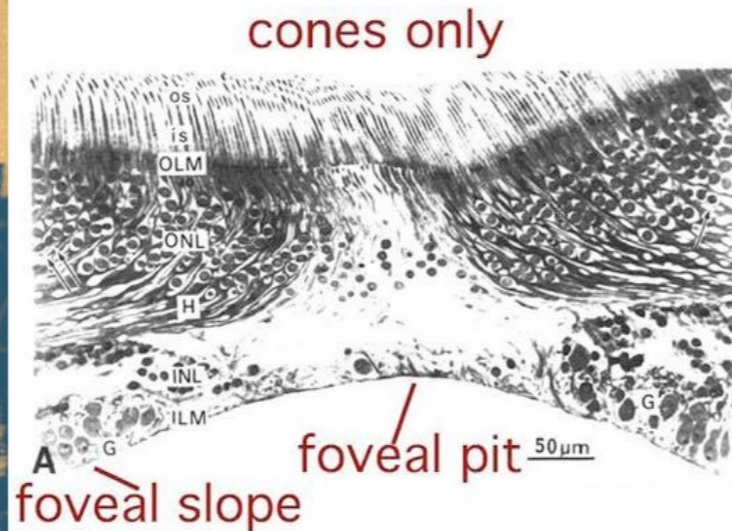


- je schopno rozeznat přibližně 7500 individuálních odstínů

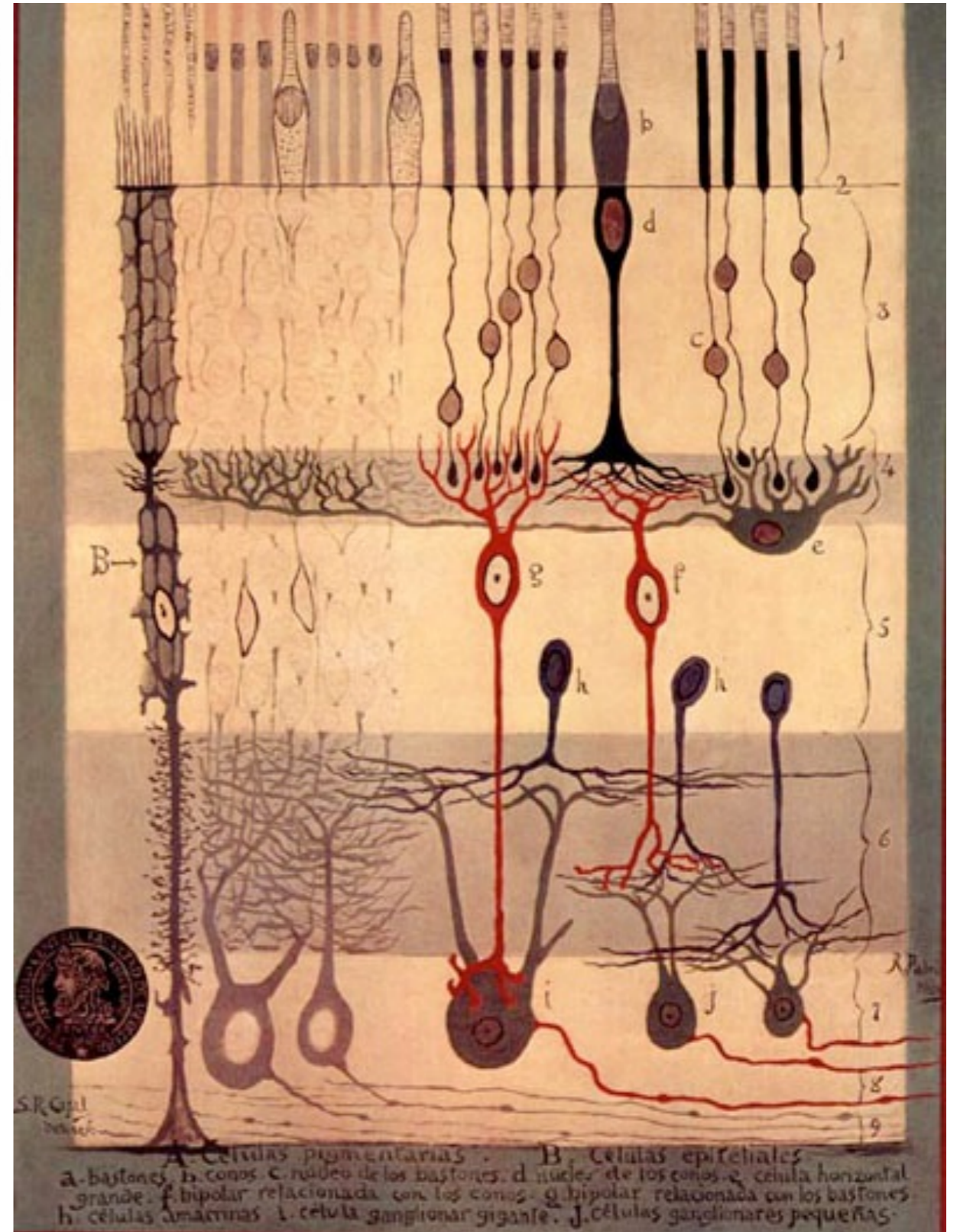


- je schopno rozeznat přibližně 2-3 milióny odstínů při párovém srovnání.

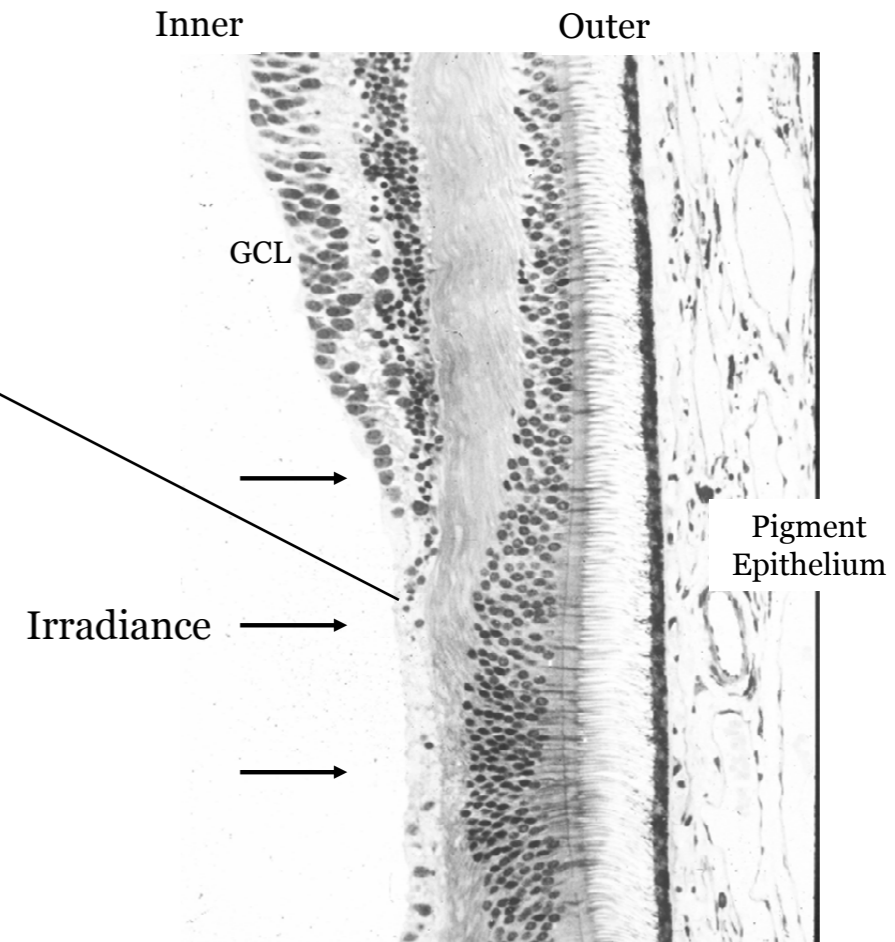
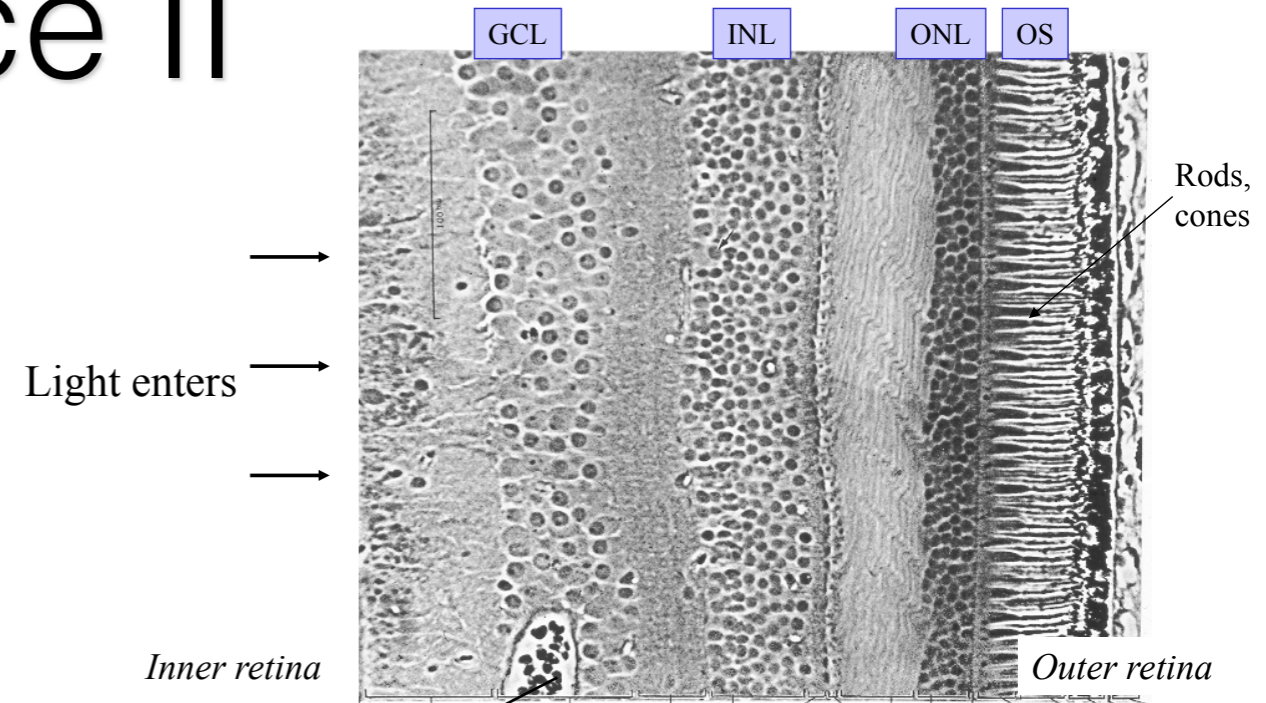
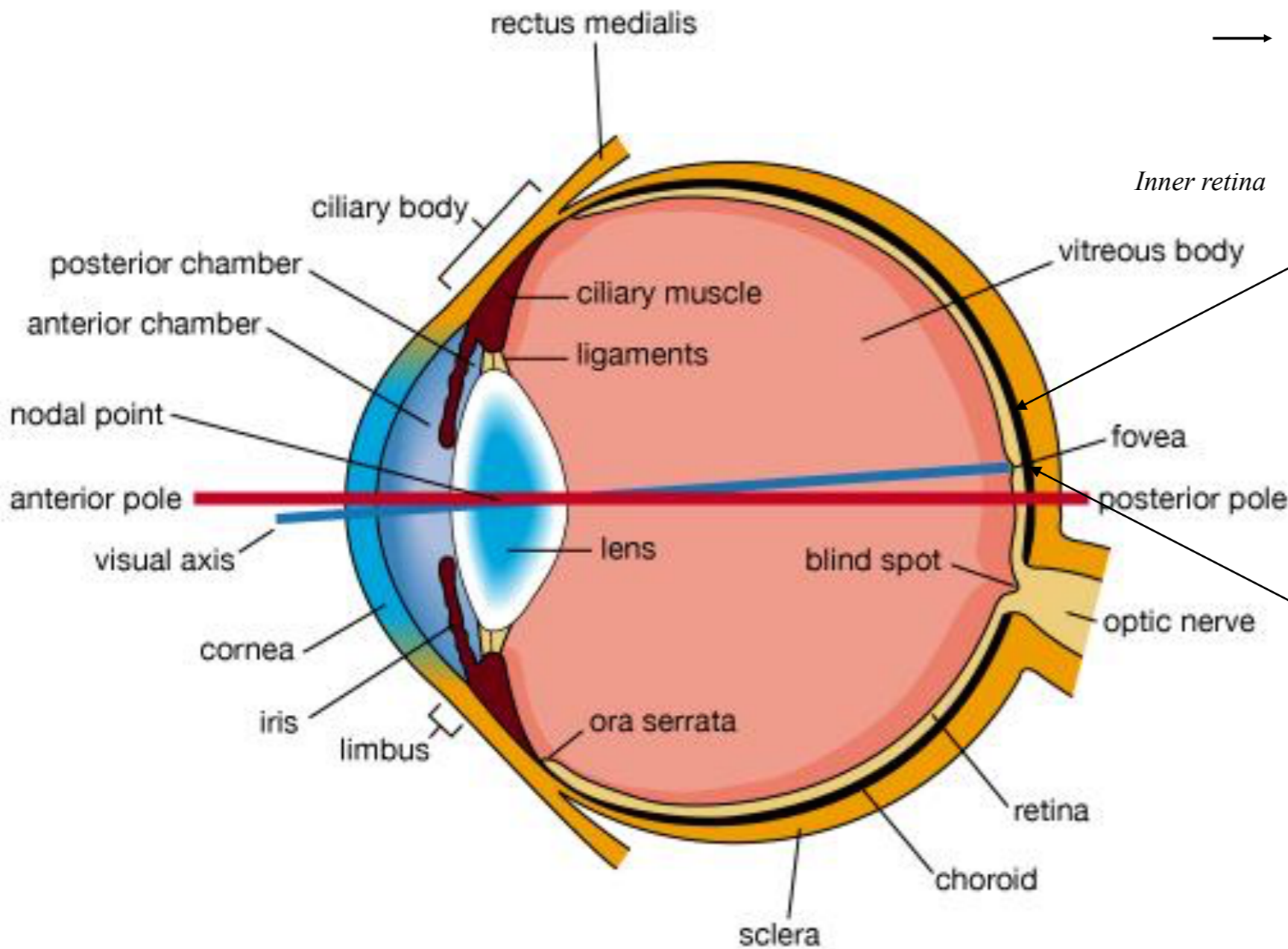
Sítnice I



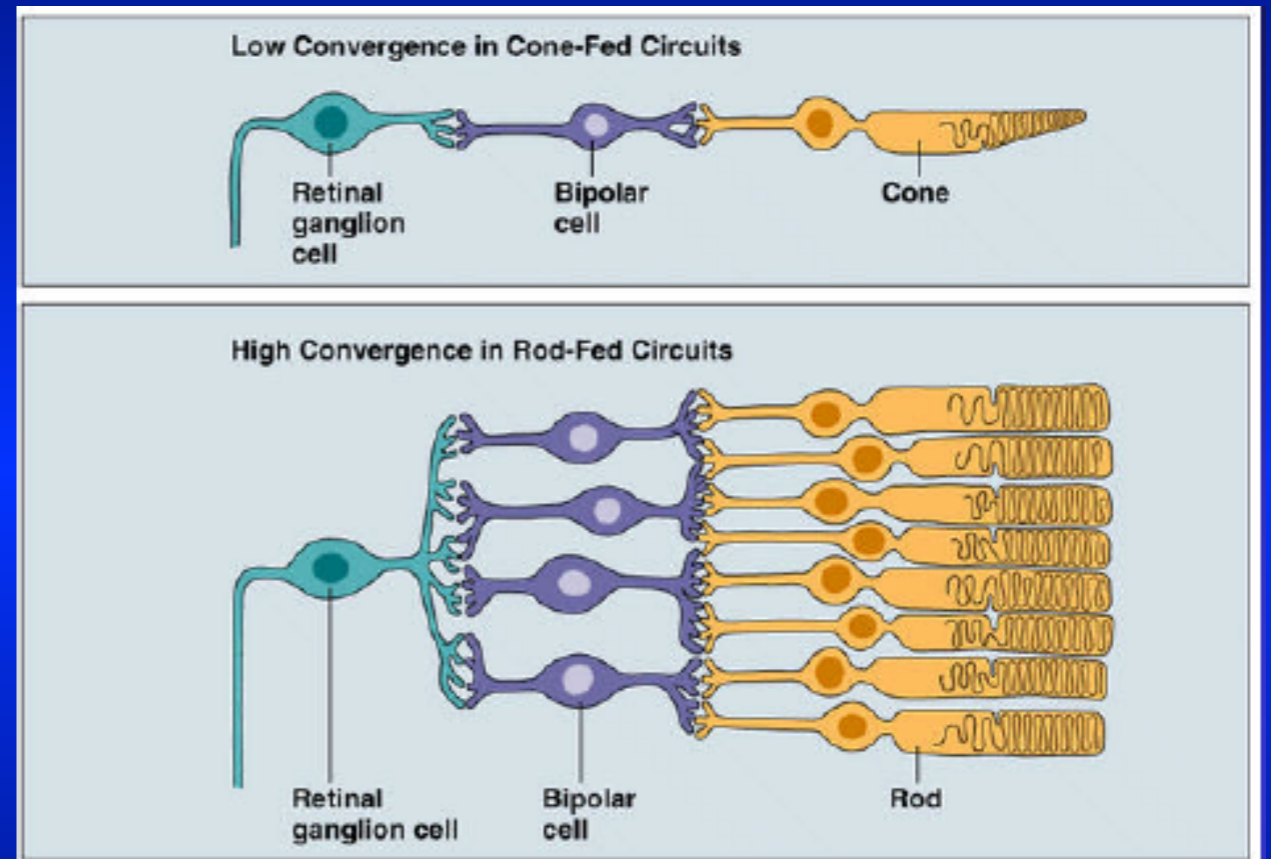
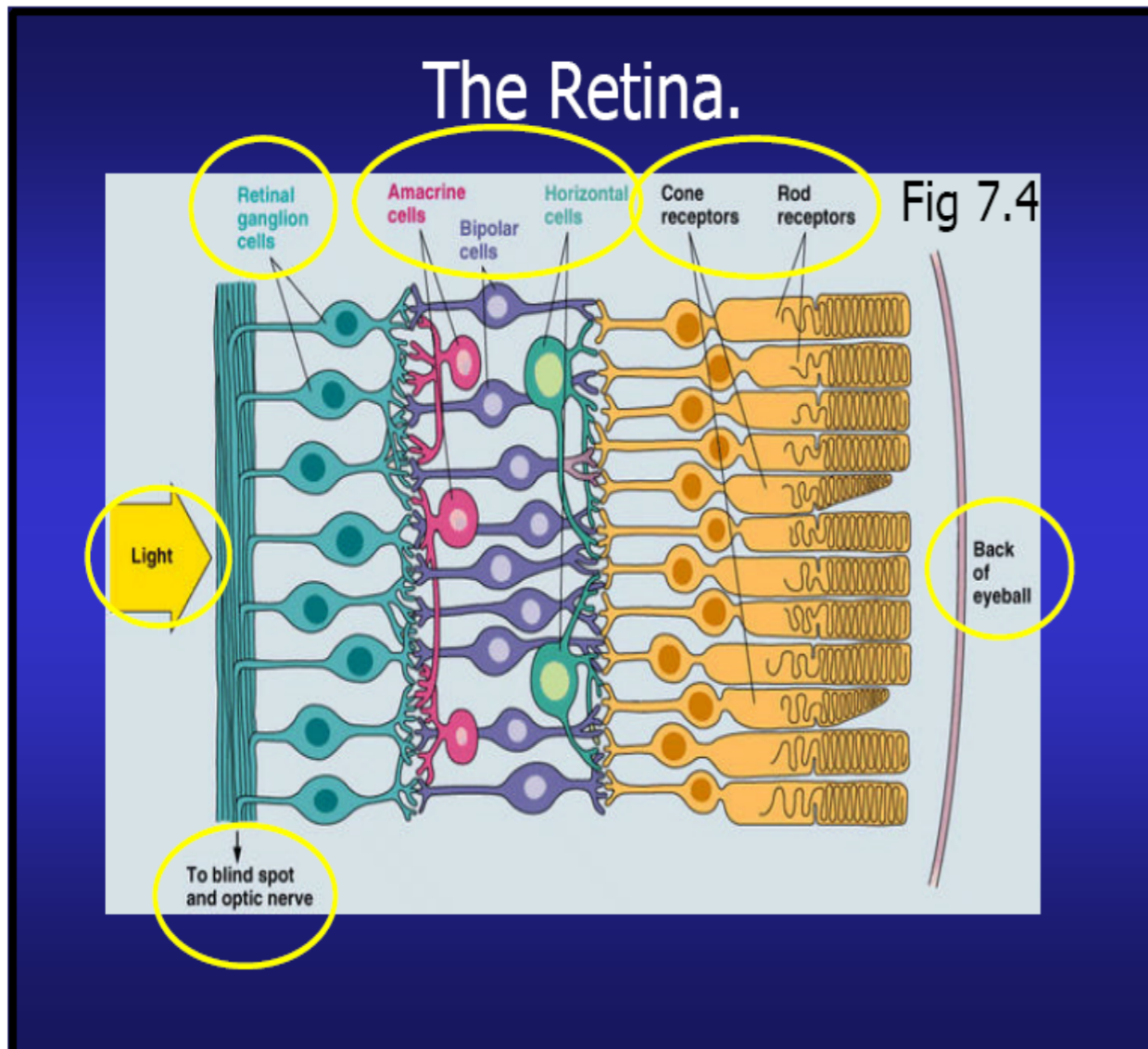
- sítnice obsahuje světločivné buňky
 - čípky pro barevné vidění
 - tyčinky pro černobílé vidění
- ty jsou světlem excitovány, signál se přenese dalšími neurony sítnice do vláken optického nervu
- optický nerv vede signál do kůry
- čípky a tyčinky, bipolární, horizontální, amakrinní, gangliové neurony, glie - světlo tím vším prochází
- v oblasti žluté skvrny jsou vrstvy sítnice jakoby odtahované do stran



Sítnice II



Sítnice III



Tyčinky - větší konvergence, větší citlivost - menší schopnost přenášet prostorové informace, ve fovea centralis žádná konvergence

Aktivace fotoreceptorů při různých světelných intenzitách



- nízká intenzita osvětlení – skotopické vidění – tyčinky
- při vyšší intenzitě - mezopické vidění – tyčinky i čípky
- při ještě vyšší - fotopické vidění – jen čípky, tyčinky jsou "zahlcené"
- při ještě vyšší - k poškození sítnice.

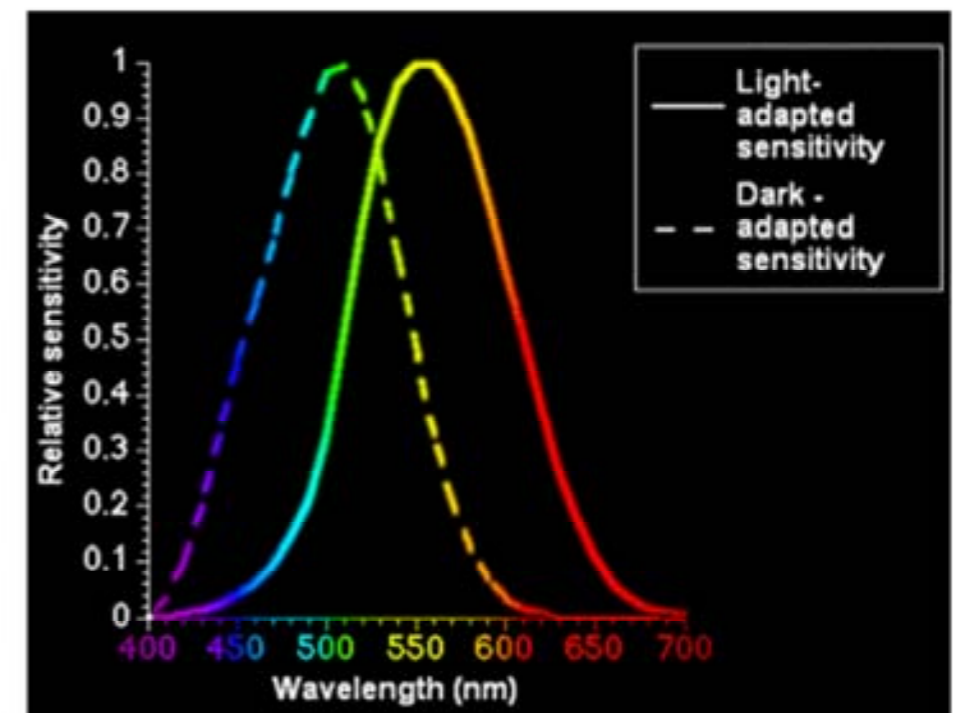
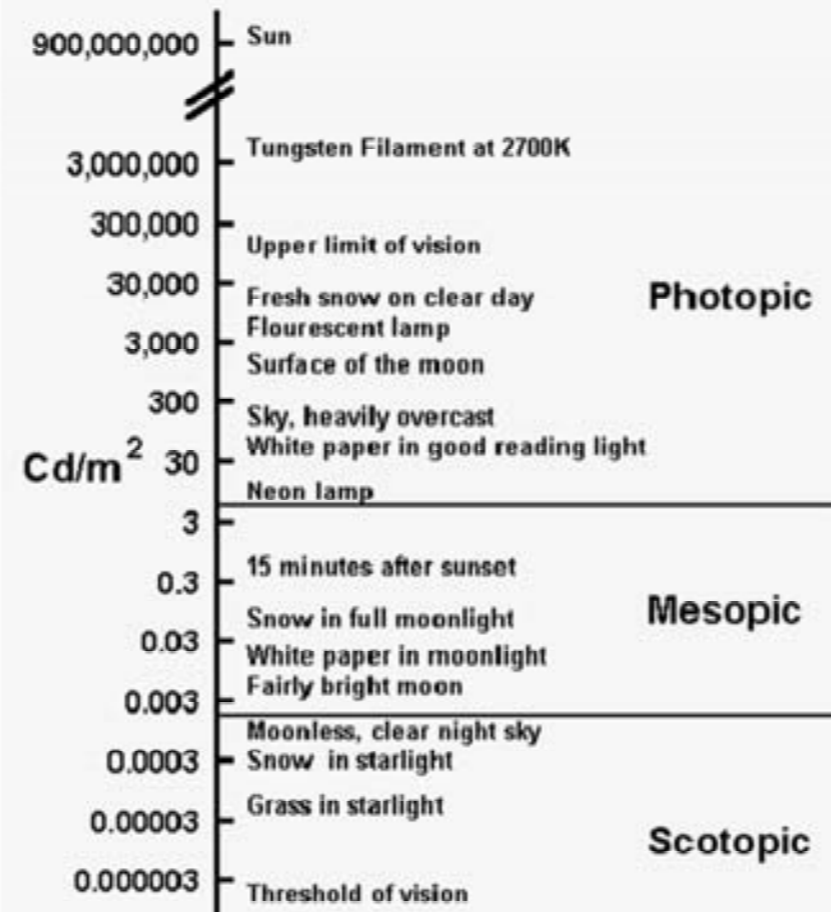
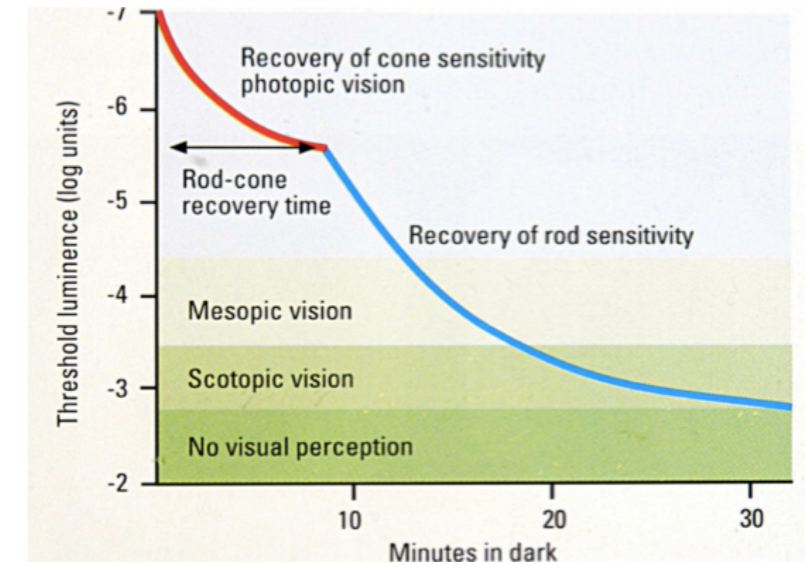
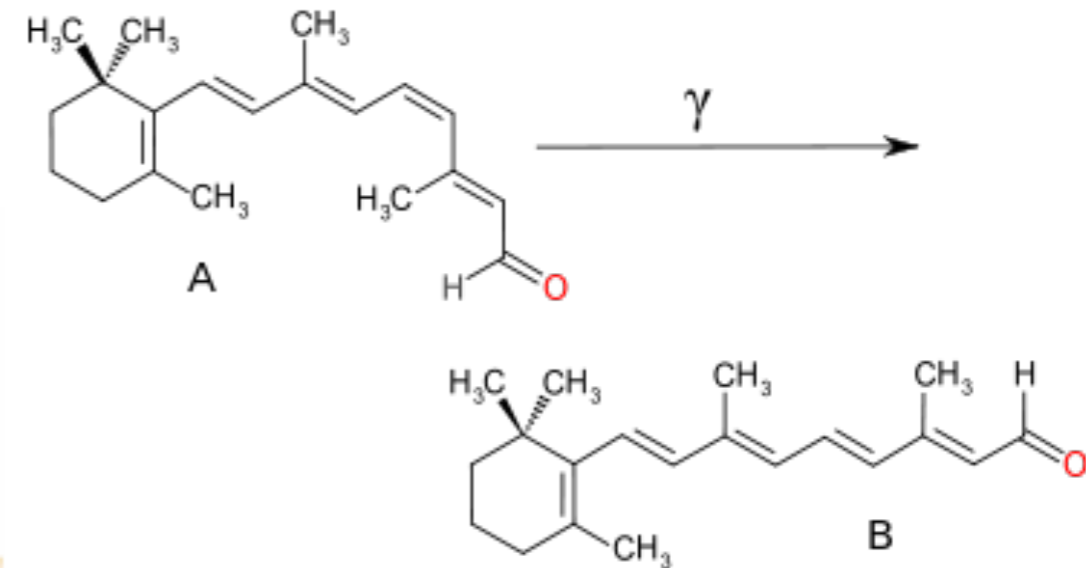
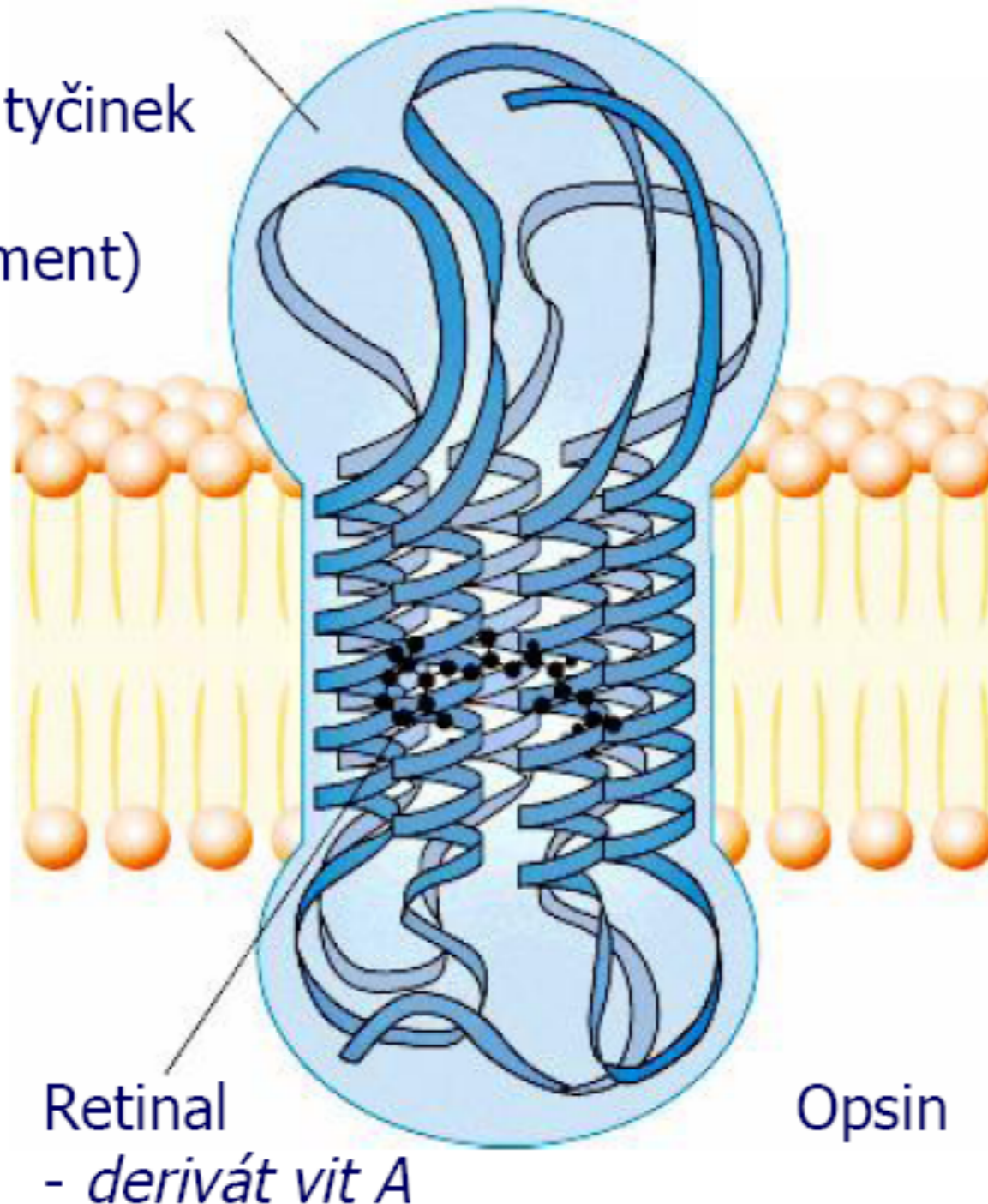


Fig1b. Scanning electron micrograph of the rods and cones of the primate retina. Image adapted from one by Ralph C. Eagle/Photo Researchers, Inc.

Tyčinky

Molekula zrakového
Pigmentu -
rodopsinu tyčinek
(čípky mají
jiný ftopigment)

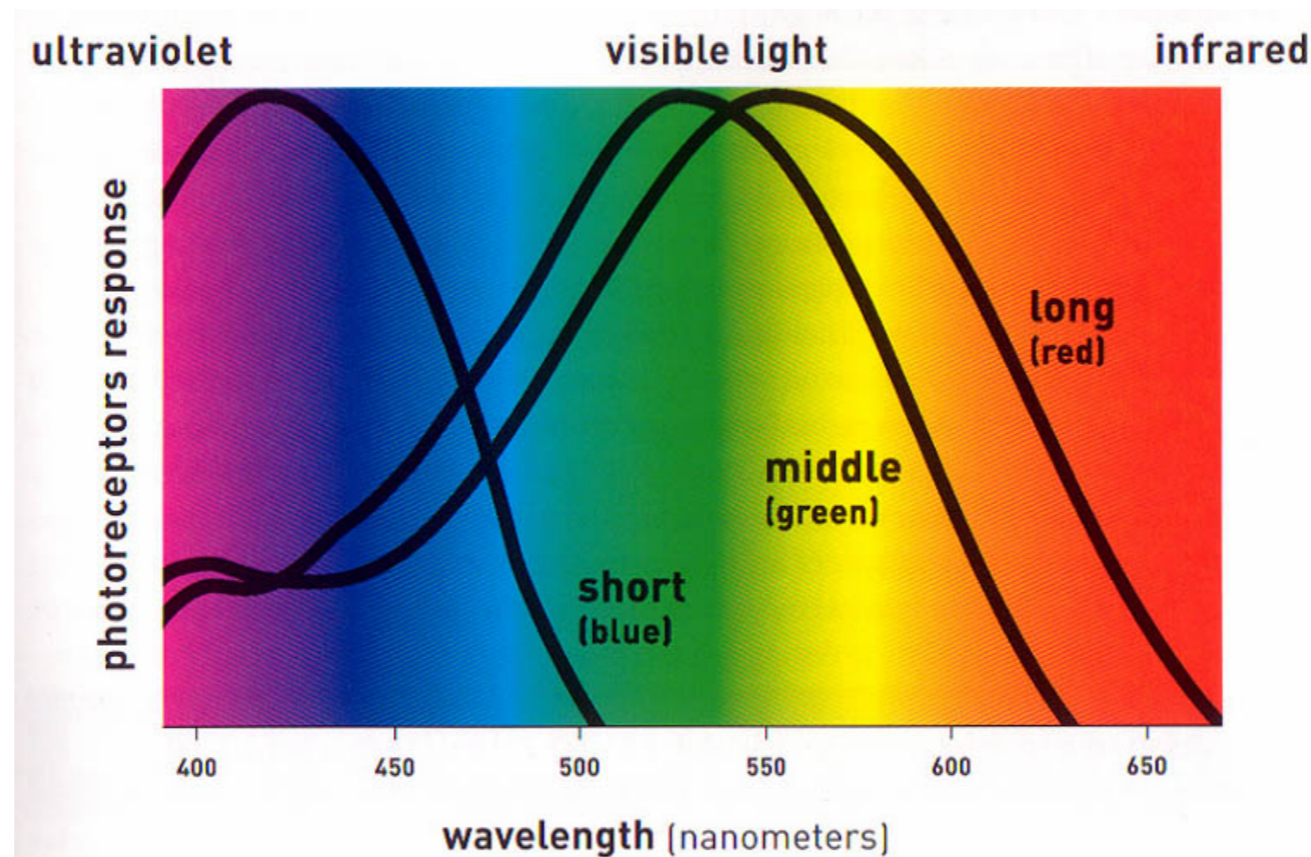


vnější segment tyčinek obsahuje
zrakový pigment rodopsin
(proteinová složka skotopsin +
karotenový pigment retinal)
retinal je ve formě 11-cis

v principu stejná situace je i u
čípků, pouze zrakové pigmenty zde
mají trochu jinou stavbu - (jiné
absorpční maximum), nazývají se
čípkové pigmenty

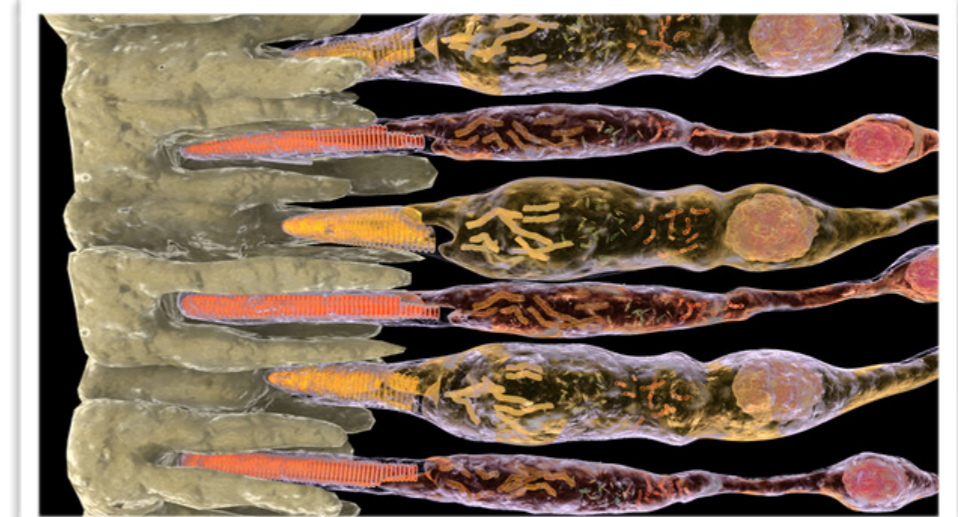
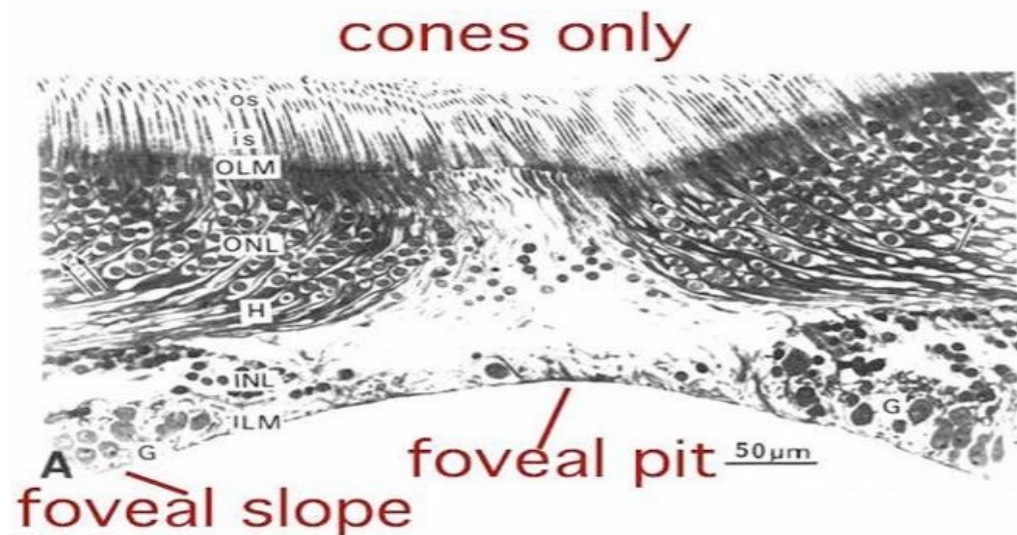
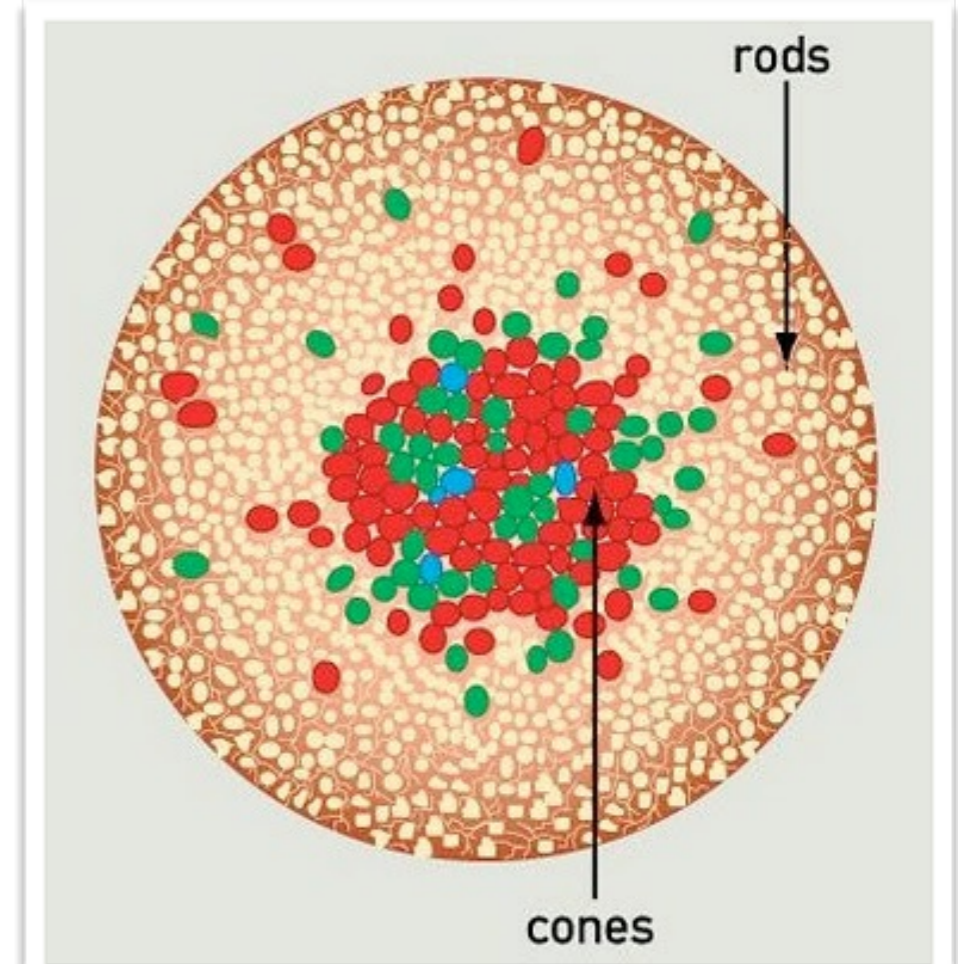
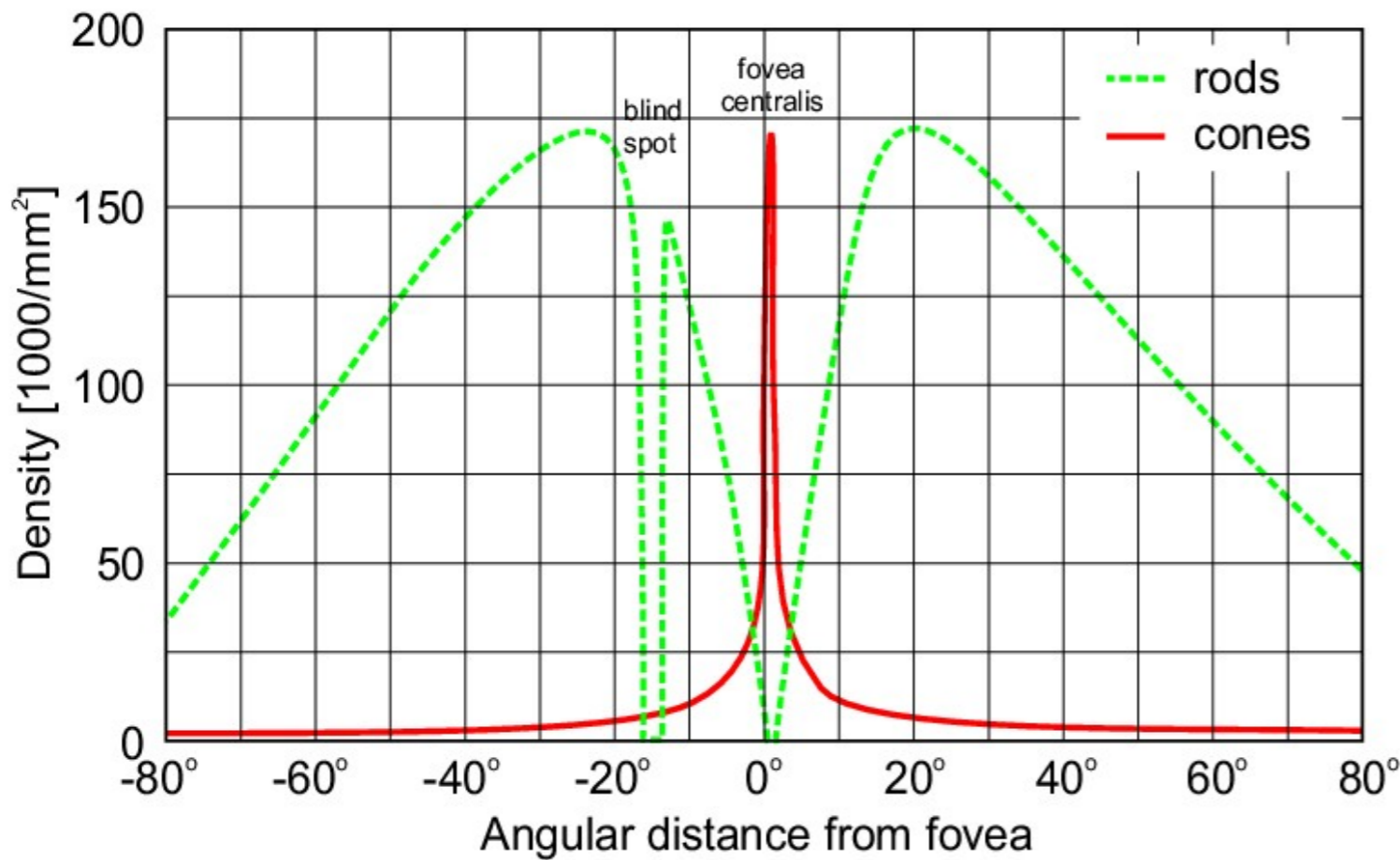
Čípky I

- princip zcela shodný s tyčinkami, nižší senzitivita
- retinal zcela shodný, rozdíl v proteinové složce pigmentu
- 3 typy s různými absorpčními maximy: modrý (445 nm), zelený (535 nm) a červený (570 nm)
 - rodopsin 505 nm

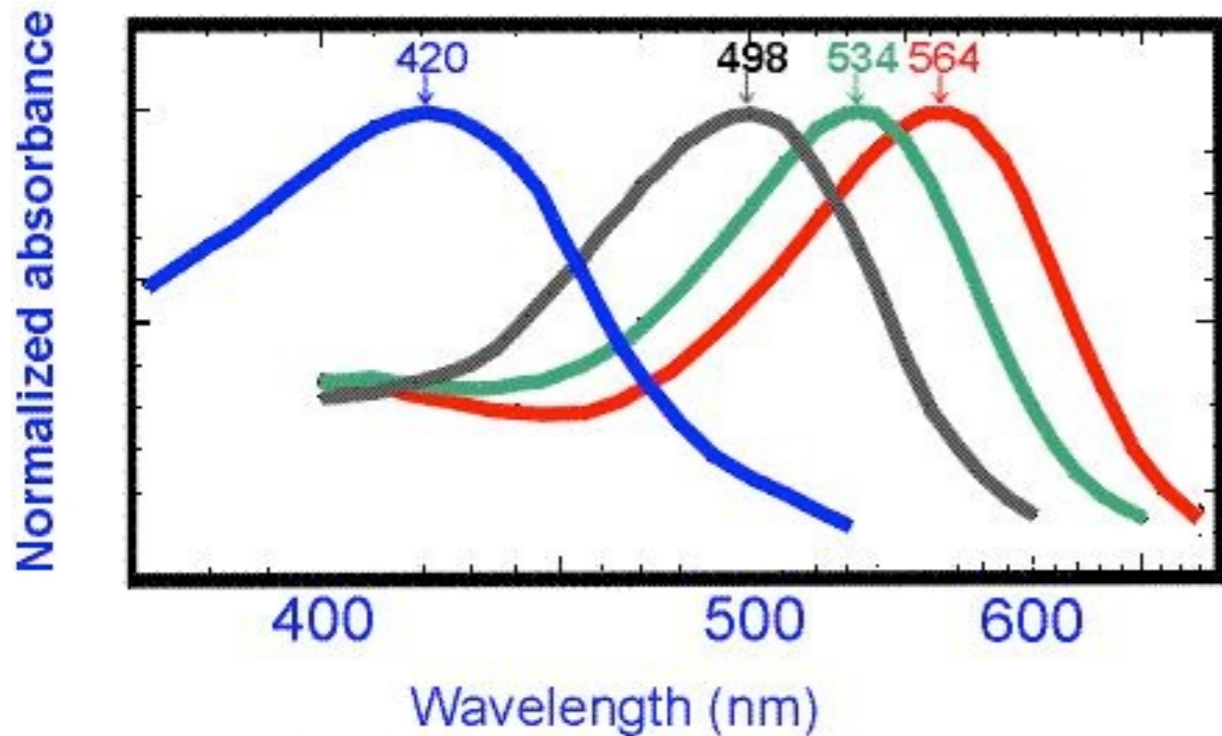
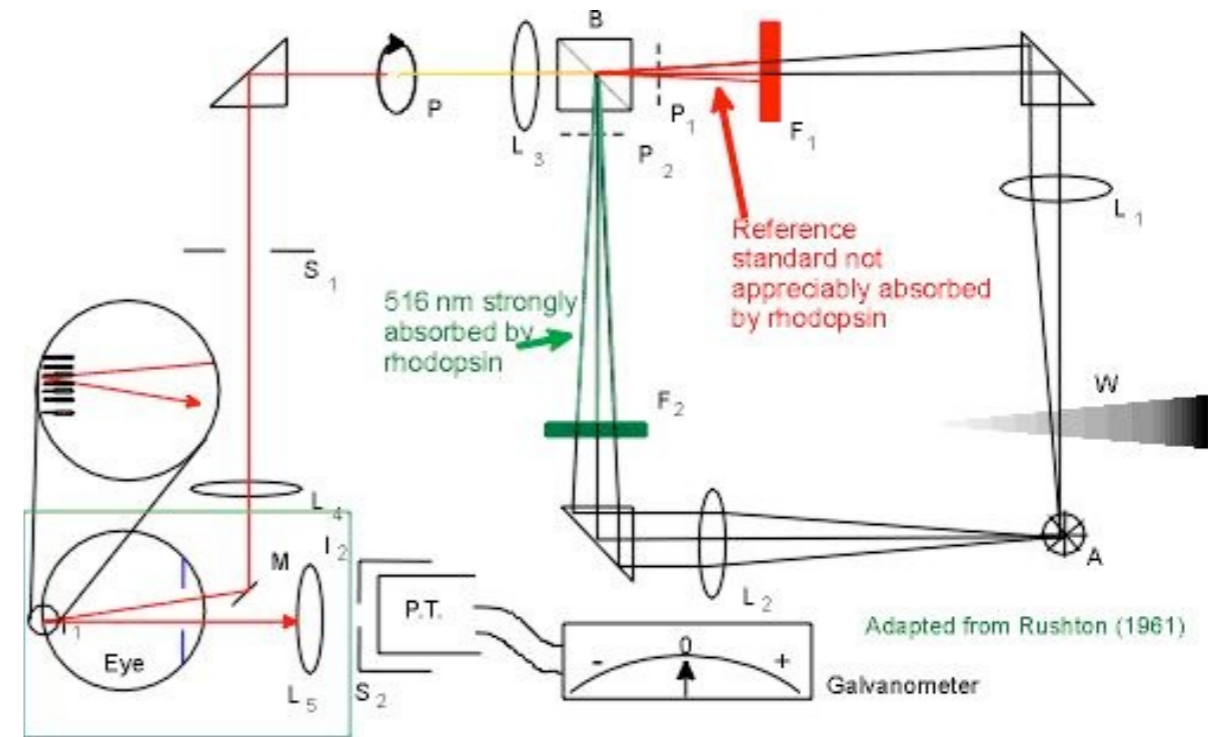
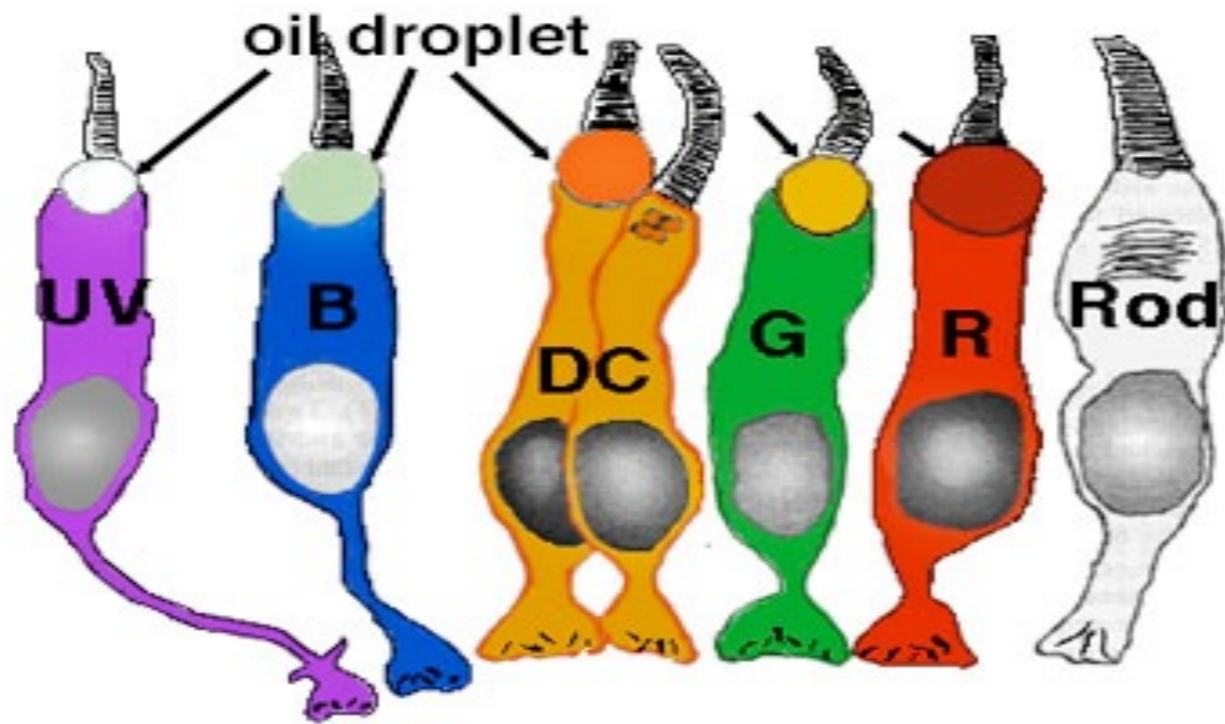


Rozložení čípků a tyčinek v sítnici oka

Density of rods and cones in the human eye

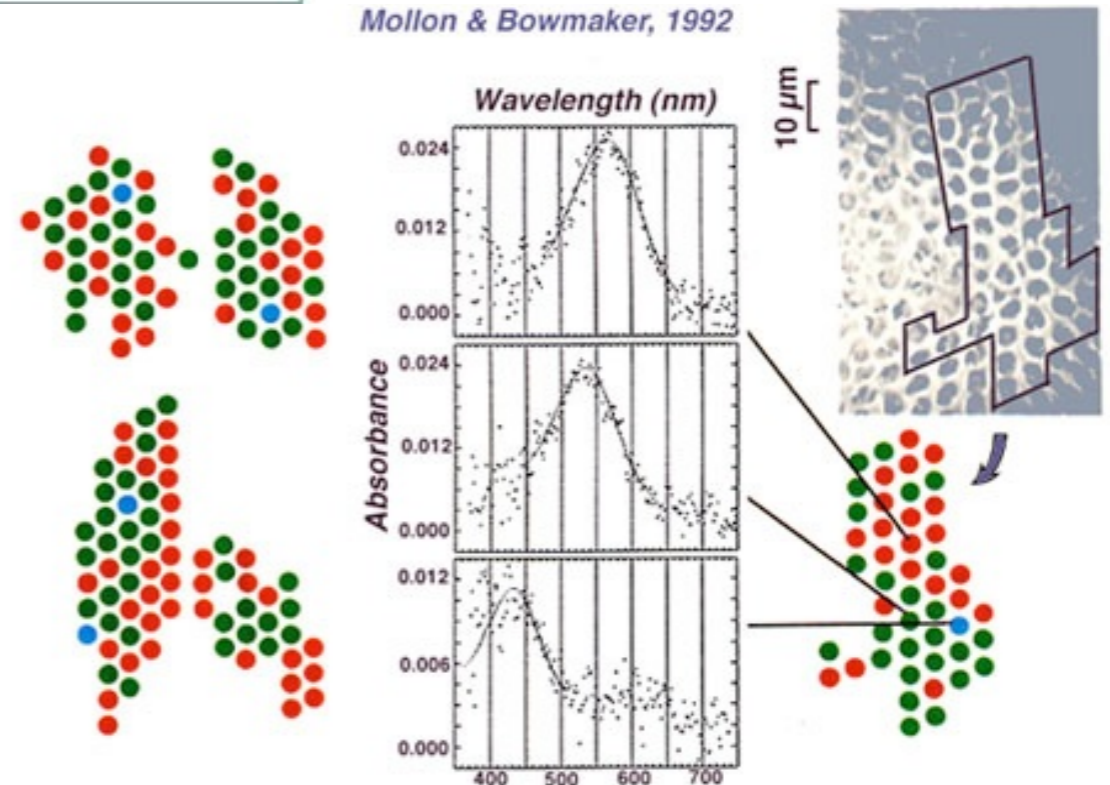


Čípky II

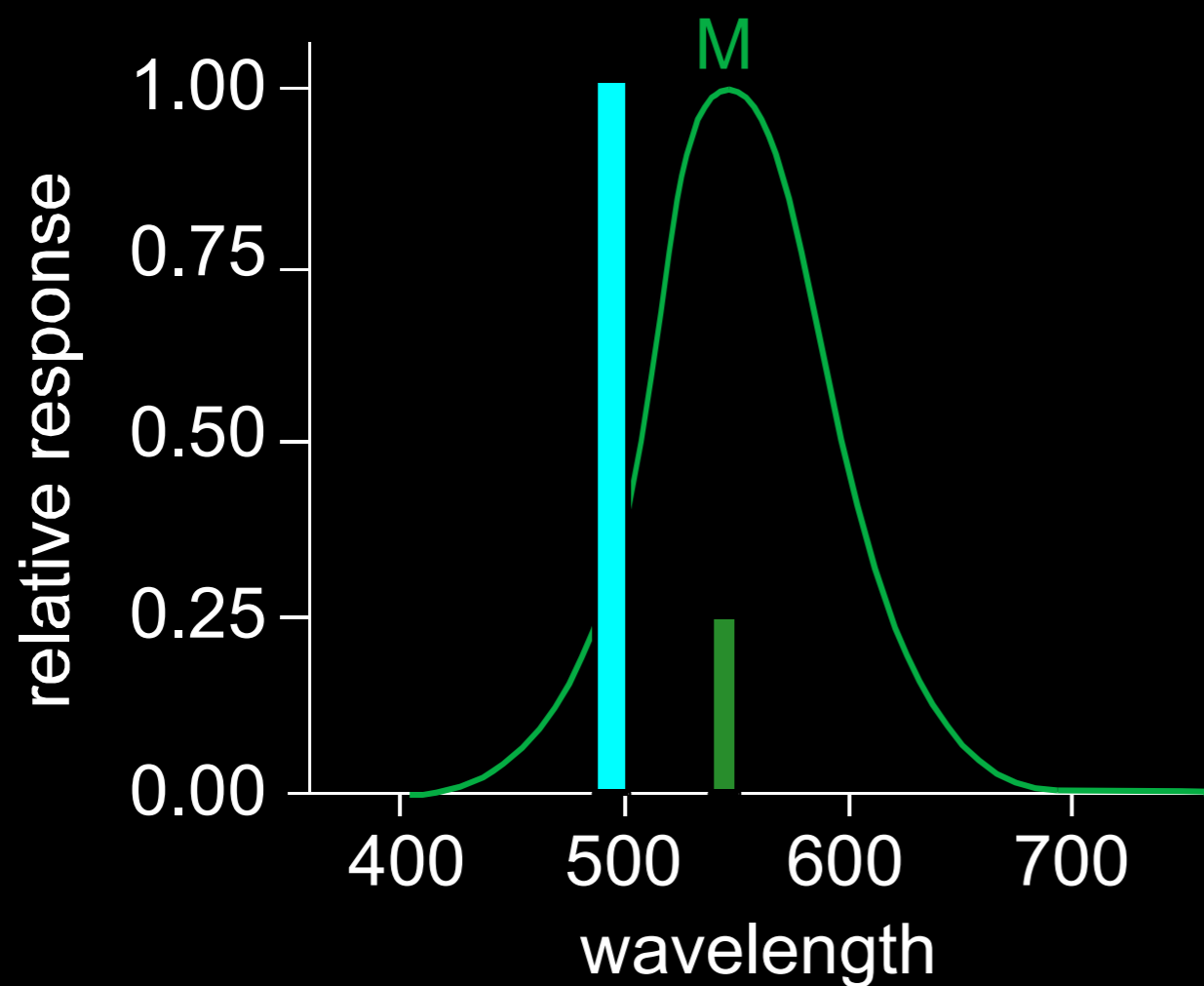


After Bowmaker & Dartnall, 1980

Mollon & Bowmaker, 1992

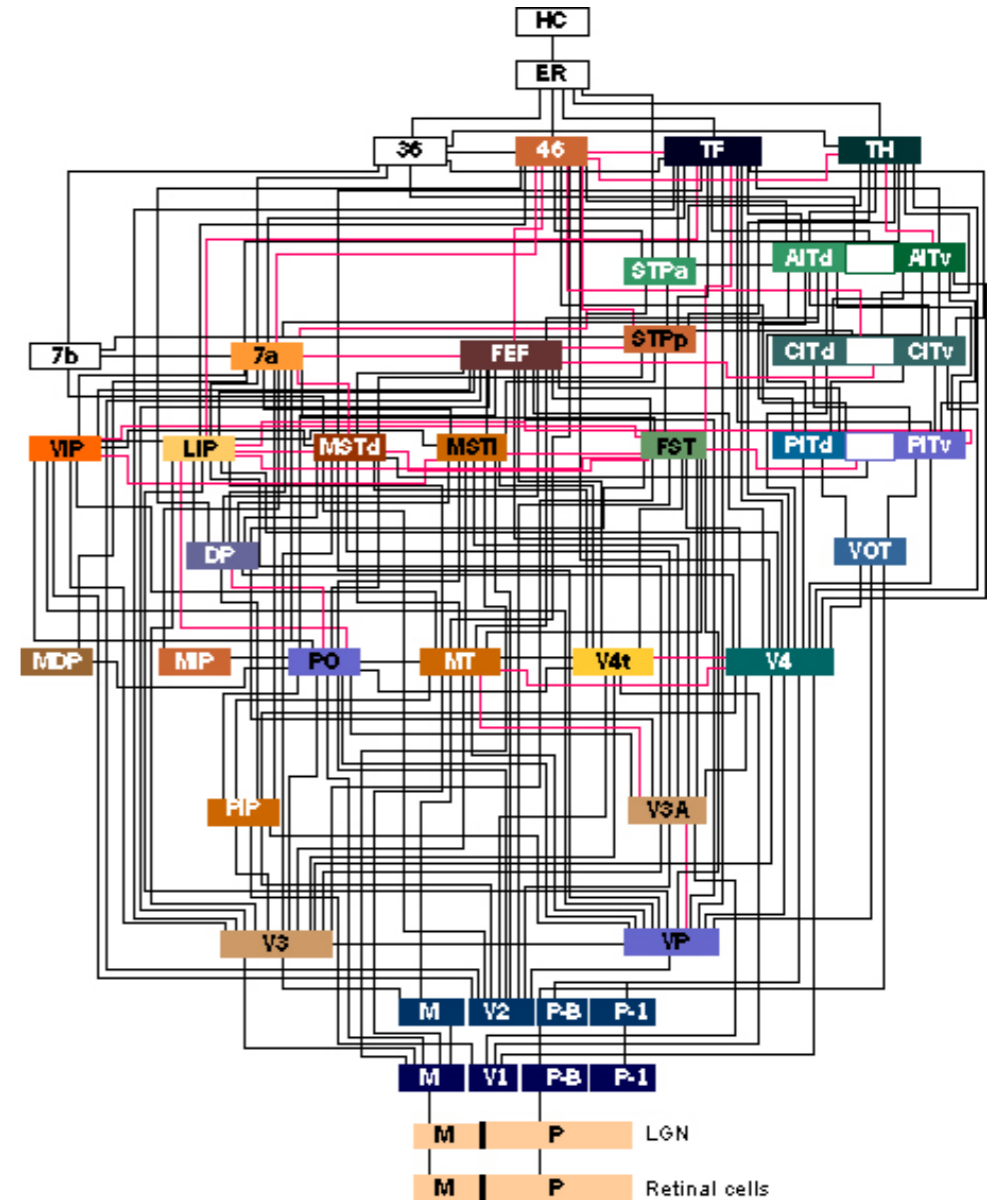
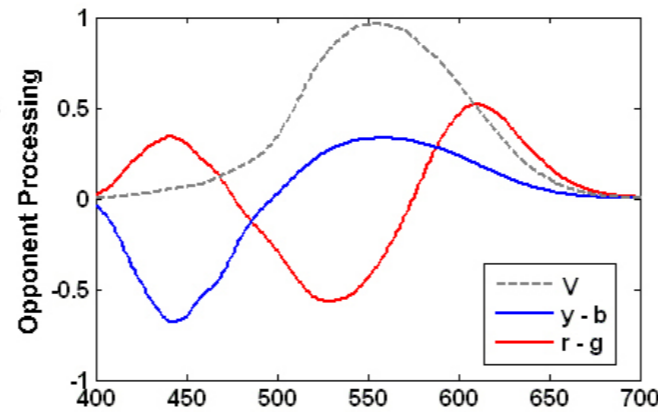
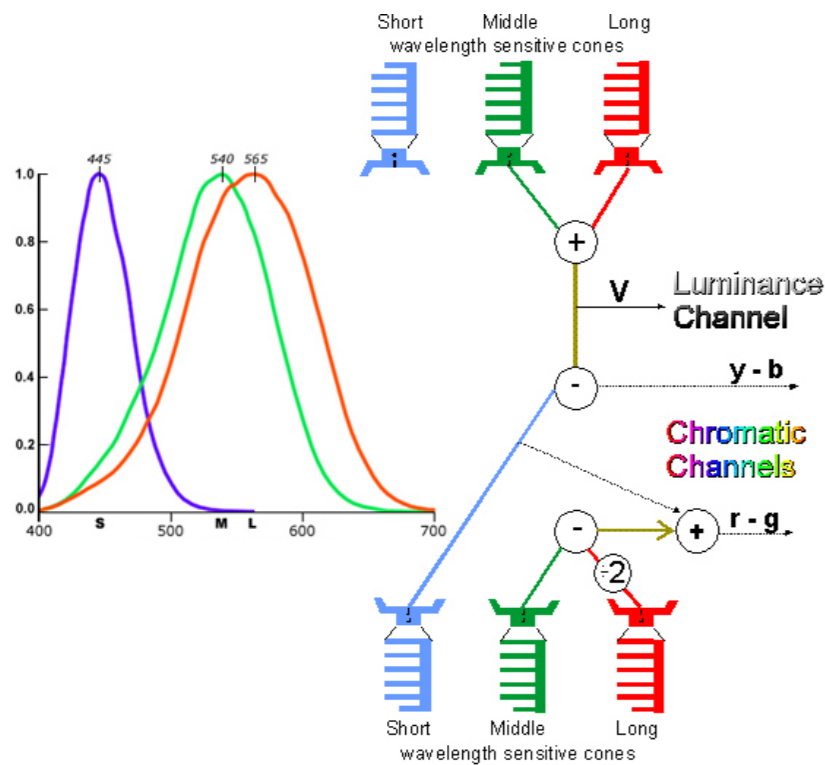
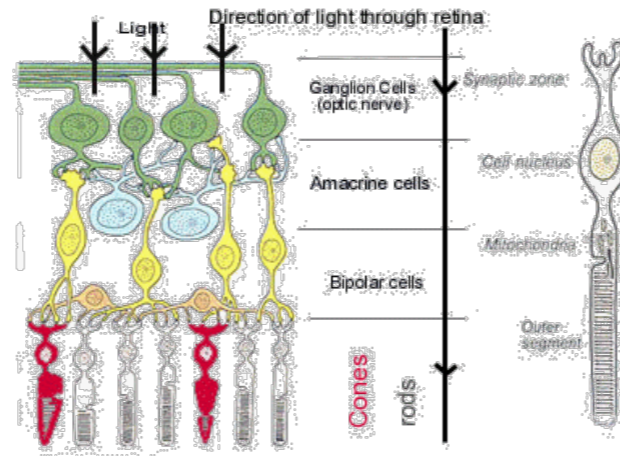
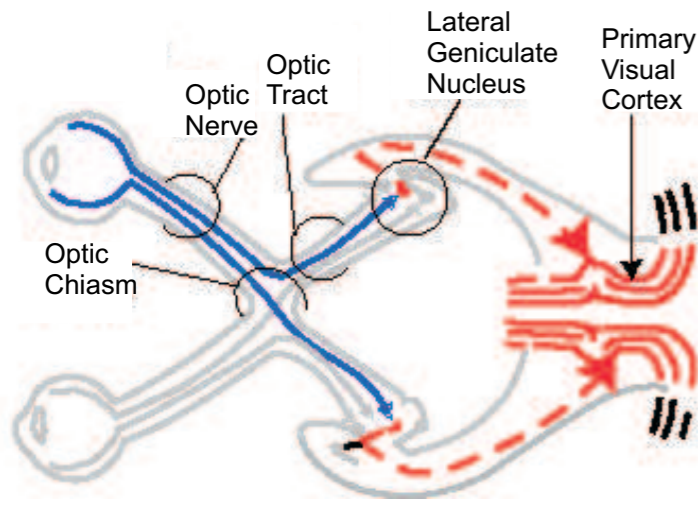


Čípky III



- **Pozor!** čípky nevnímají jednotlivé vlnové délky odděleně
- různě intenzivní podněty mohou vyvolat shodnou odezvu v závislosti na vlnové délce podnětu a spektrální citlivosti čípku

Modely vnímání barev



Model oponentního zpracování signálů

Popis zpracování signálů v případě Makaka

Barevná deficience - vady rozlišování barev

- **červeno-zelená:**

- protanopie (chybí výskyt červených čípků),
- deuteranopie (chybí výskyt zelených čípků)
 - zelená, žlutá, oranžová, červená
 - dědičné, na X chromozómu

- **modrá:**

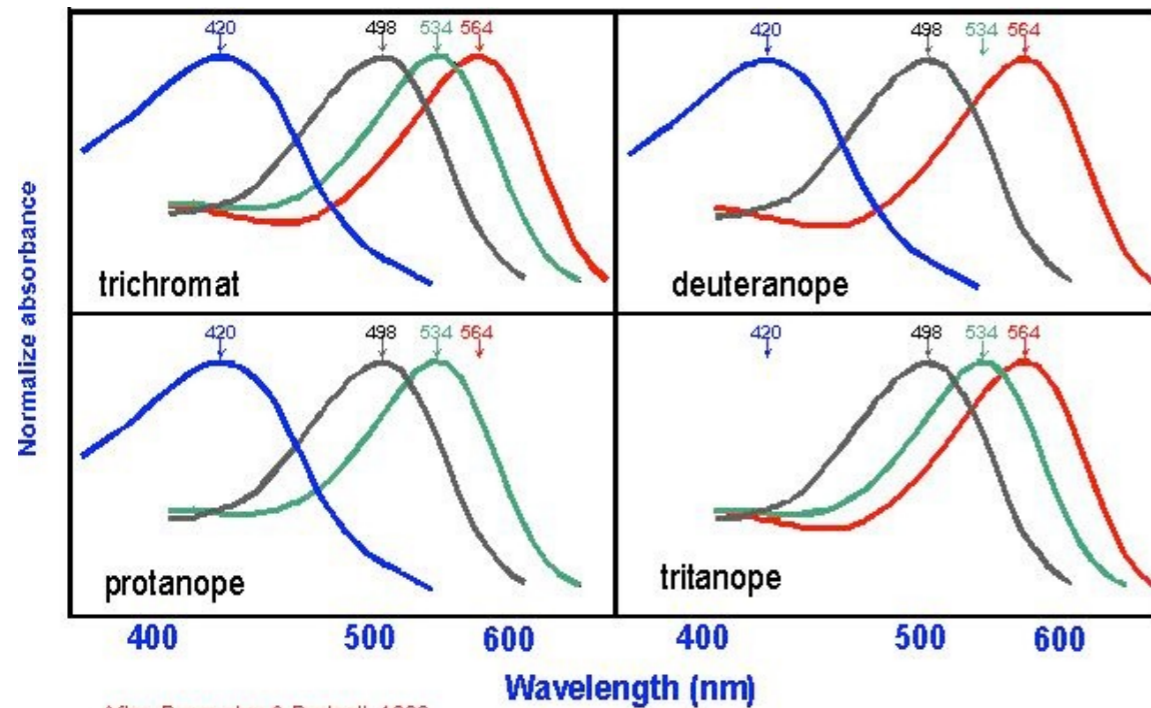
- tritanopie (chybí výskyt modrých čípků),
- vzácná vada

- Těmito vadami trpí více jak 8% obyvatelstva, z toho větší procento populace (7%) zatížené těmito vadami je mužského pohlaví

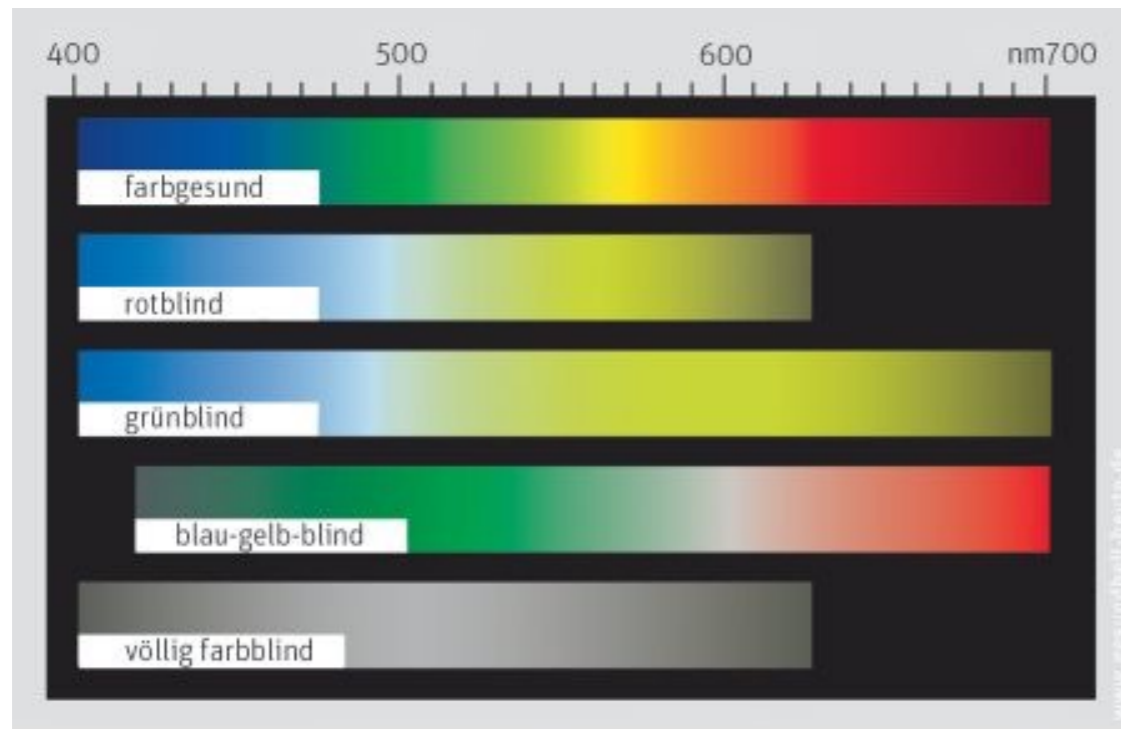
Další faktory ovlivňující vnímání barev

- Únava: obvykle denní doba, kdy je vizuální hodnocení prováděno
- Věk: stárnutí se projevuje zažloutnutím čočky a rohovky
- Stres: Hypertense (vysoký krevní tlak)
- Hlad: Vizuální hodnocení je ovlivňováno hladem (obvykle uvažujeme pouze inverzní situaci, např. modrá hlad potlačuje a zklidňuje)
- Léčiva: Viagra a Digitalis ovlivňují vnímání modrých barev
- Nemoci: Diabetes, Retina Pigmentosis a Katarakty (zákaly)
- UV: dlouhodobá expozice může poškodit sítnici a způsobuje žloutnutí čočky a rohovky

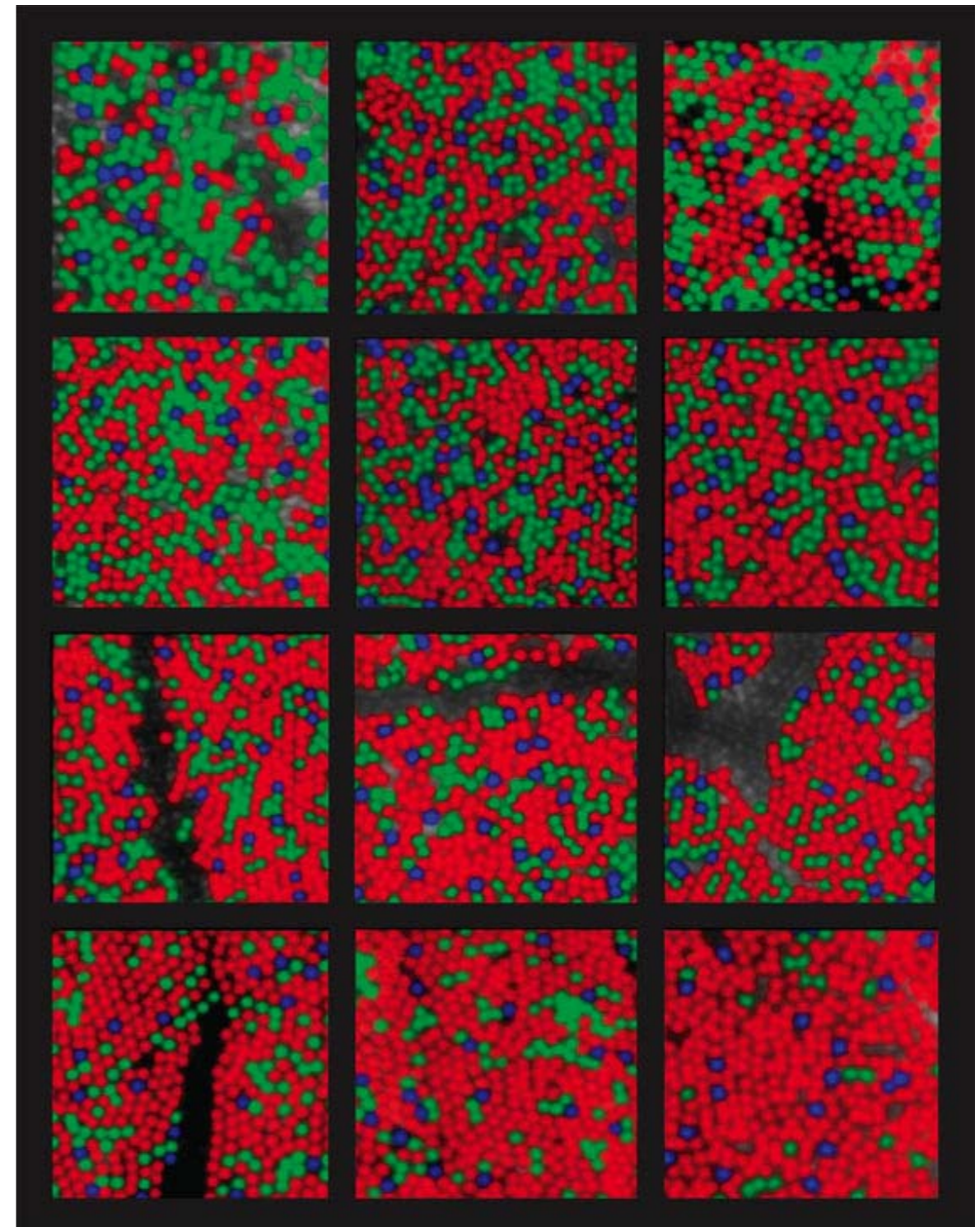
Vady barvocitu I



After Bowmaker & Dartnall, 1980



aus: www.gesundheit-heute.de



Hofer, H. et al. J. Neurosci. 2005;25:9669-9679

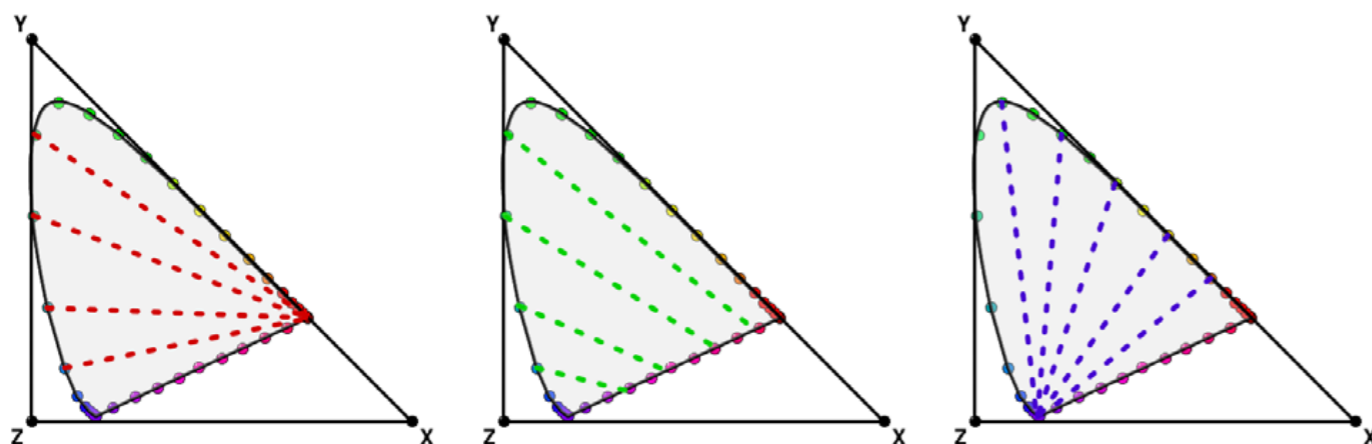
Vady barvocitu II



Bezdefektní vnímání barev

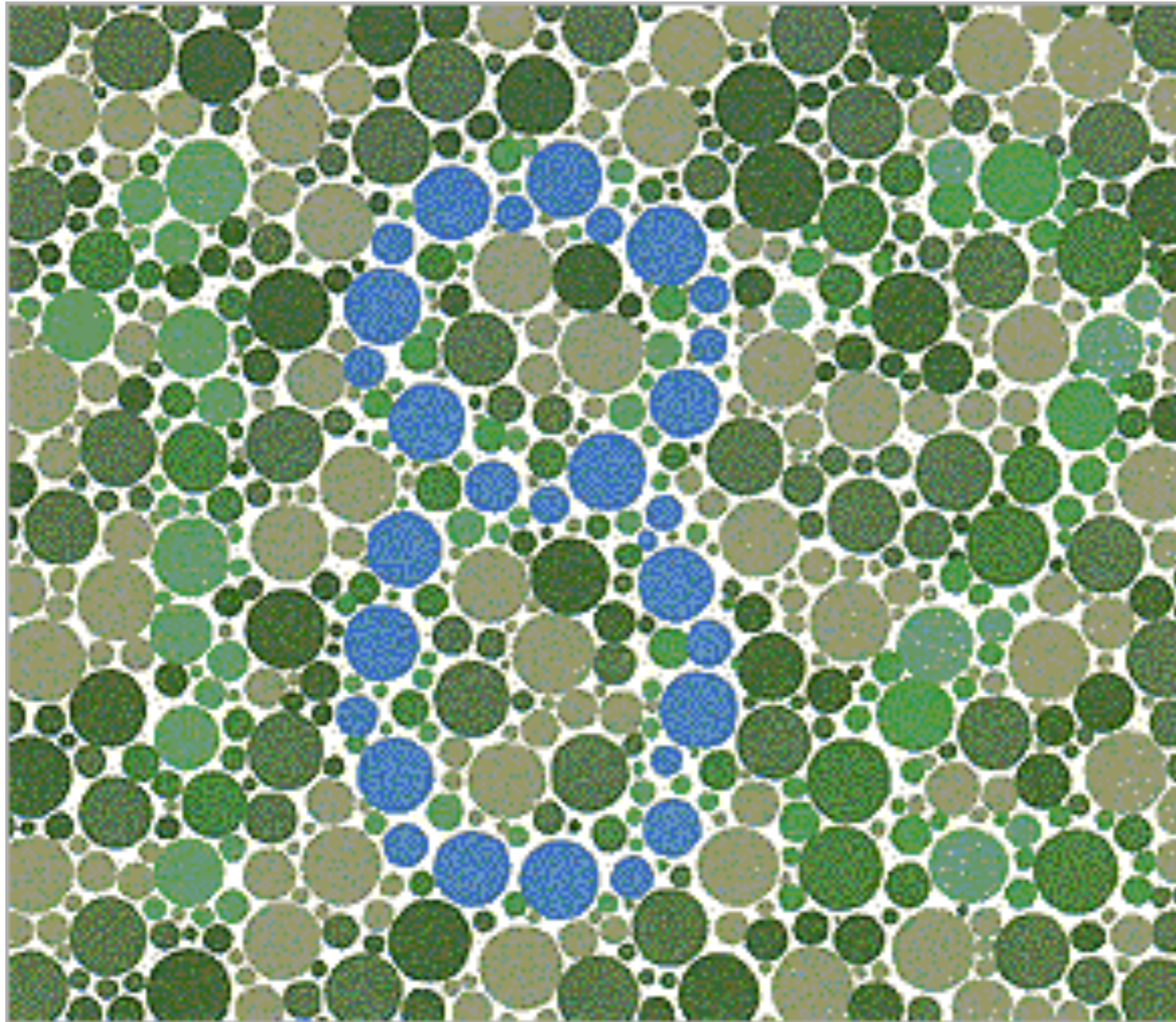


Protanopie

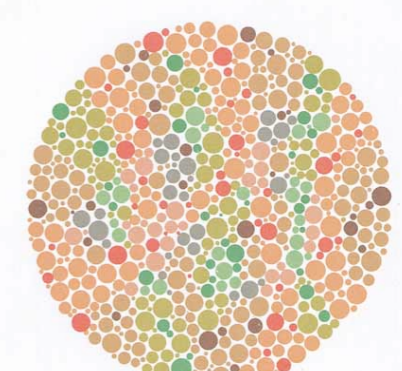
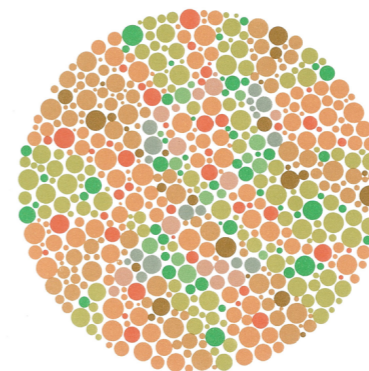
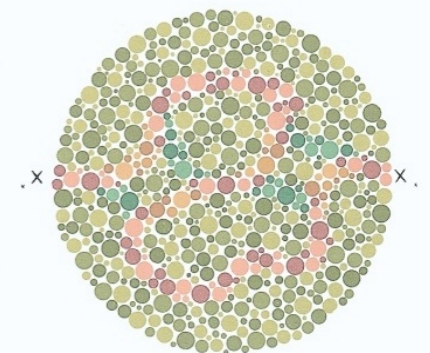
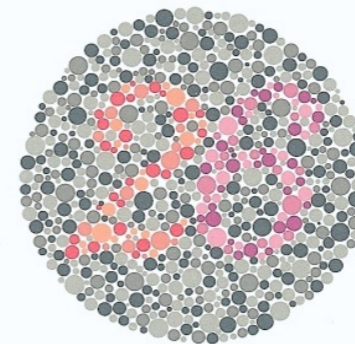


Deuteranopie

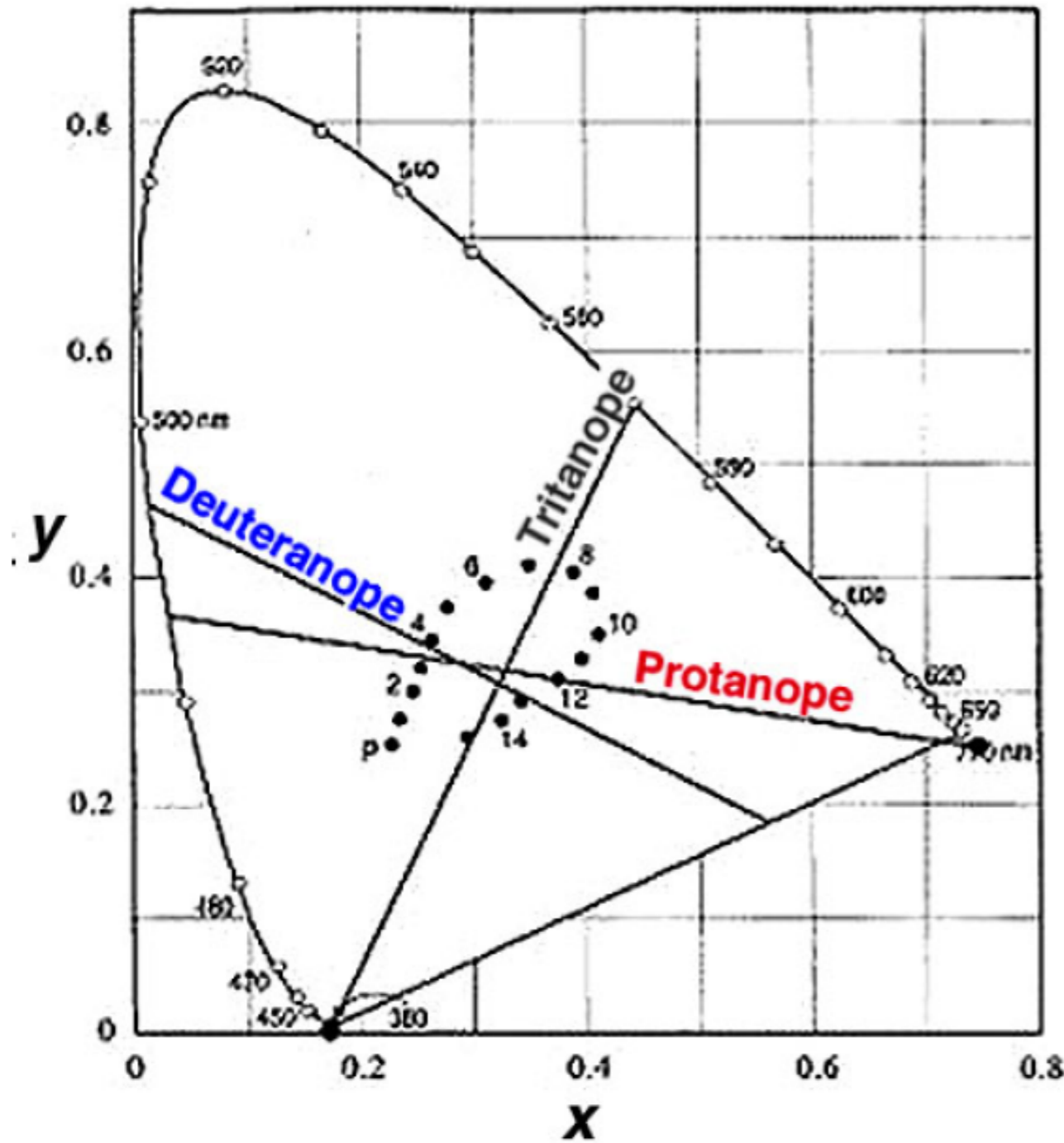
Vady barvocitu III



Ishihara test



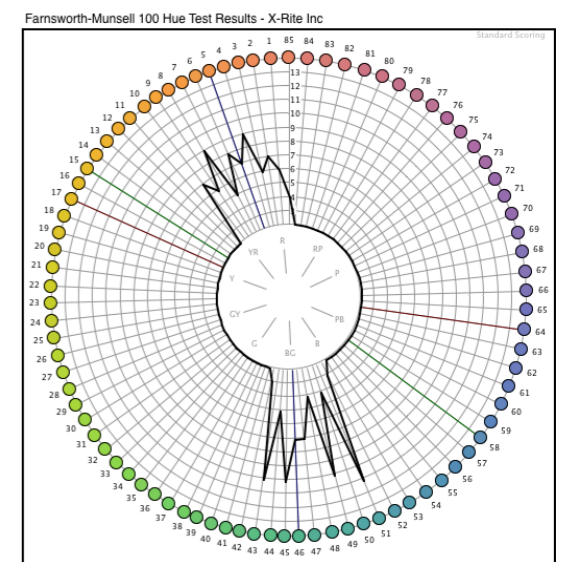
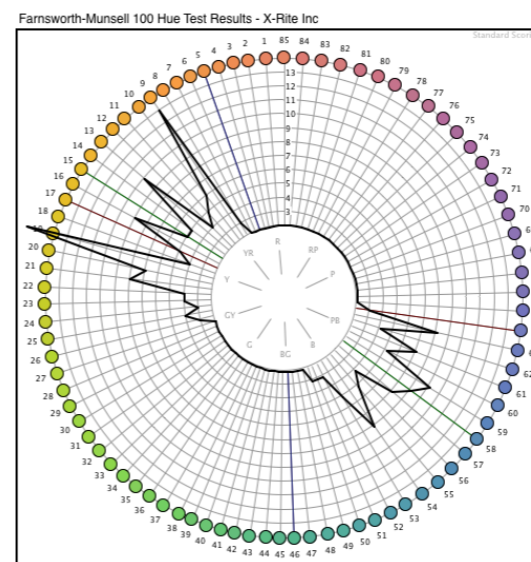
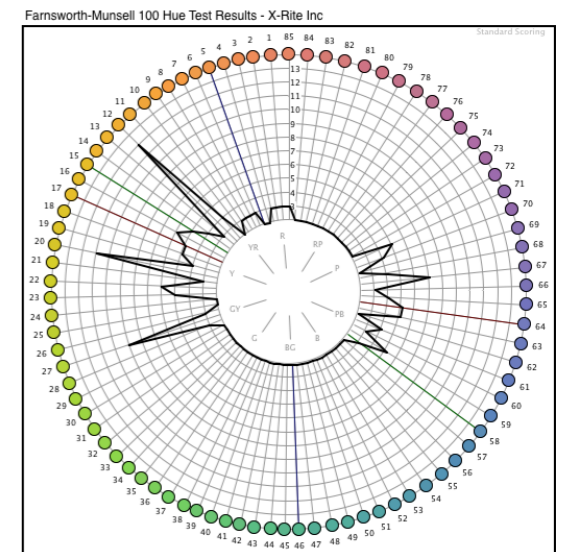
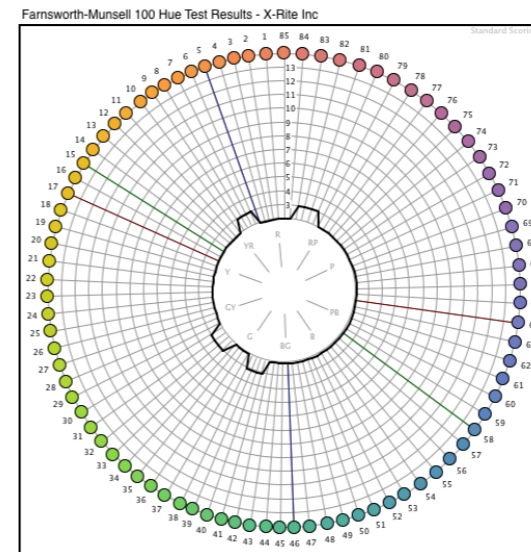
Vady barvocitu IV



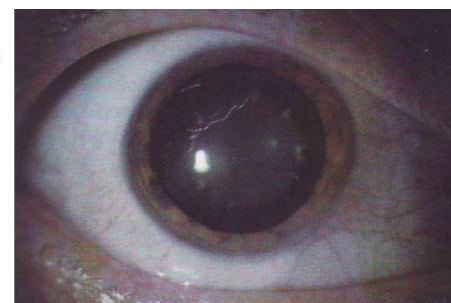
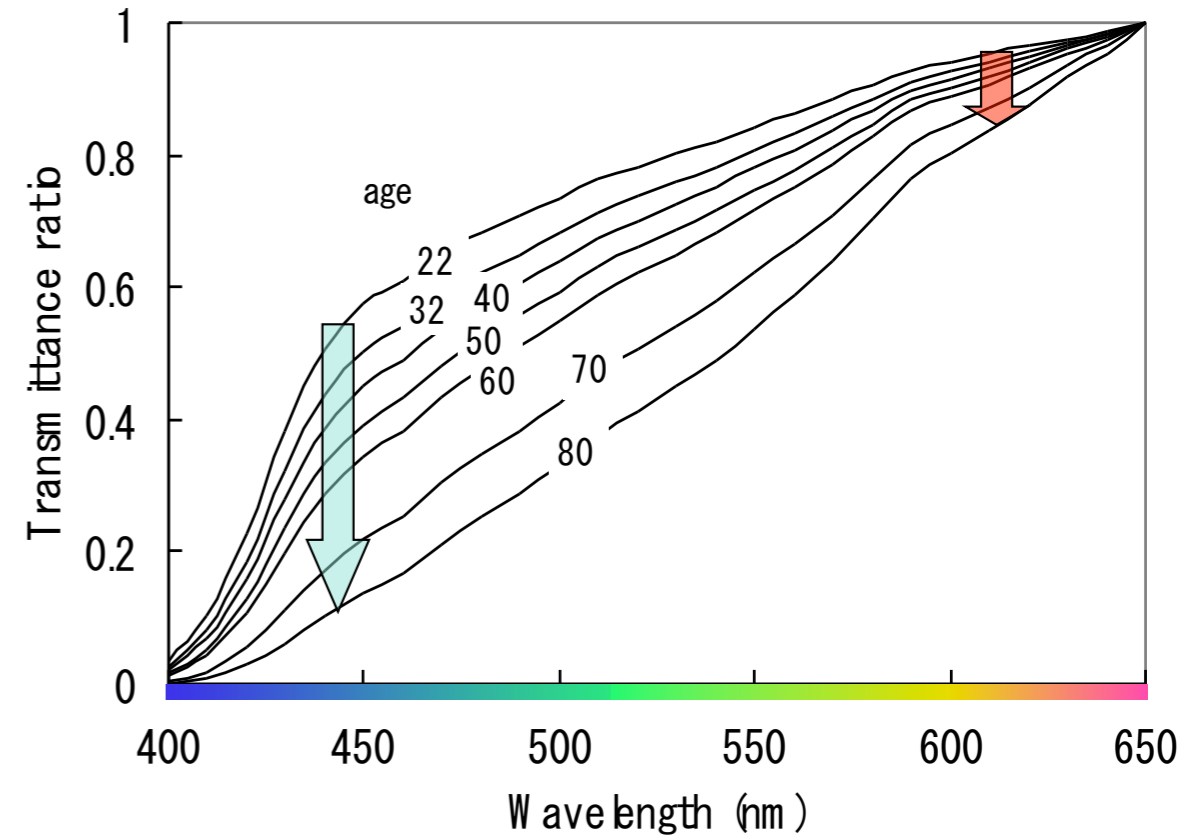
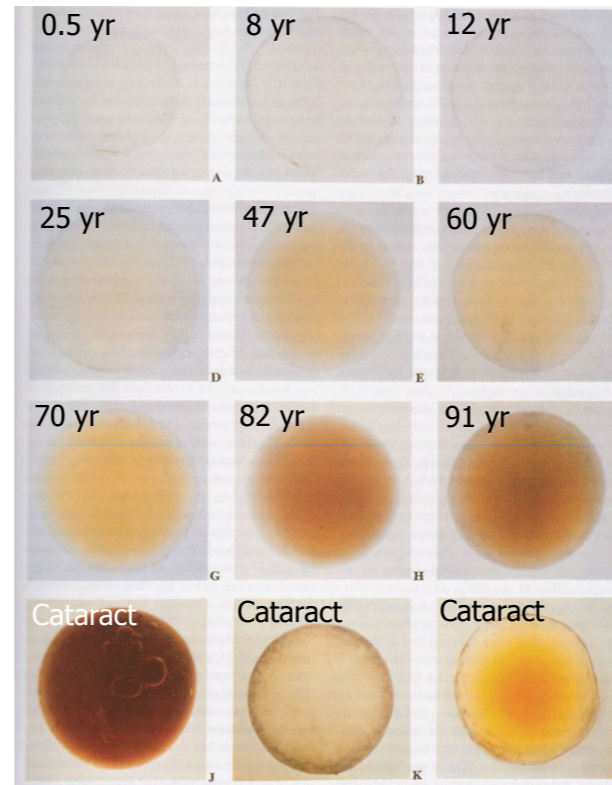
Farnsworth D15 Standard Colour Vision Test



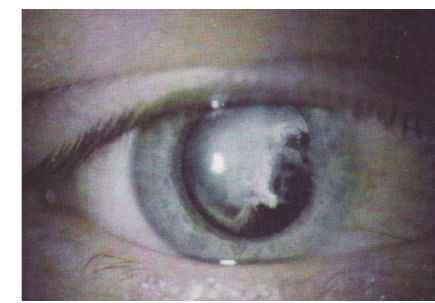
FM100 Hue Colour Vision Test



Závislost průhlednosti čočky na věku



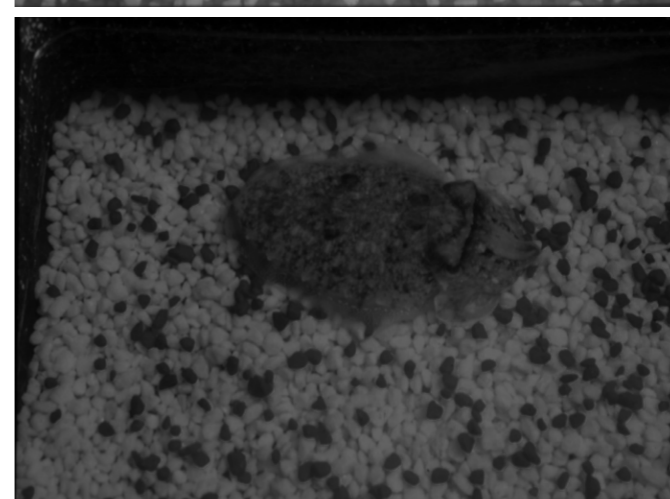
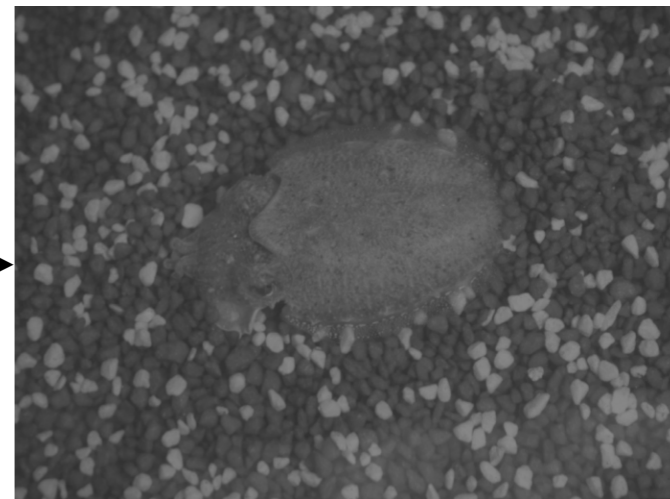
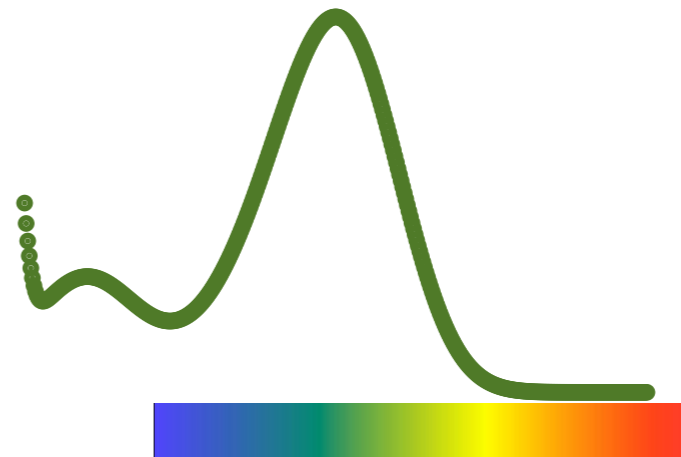
senilní katarakta



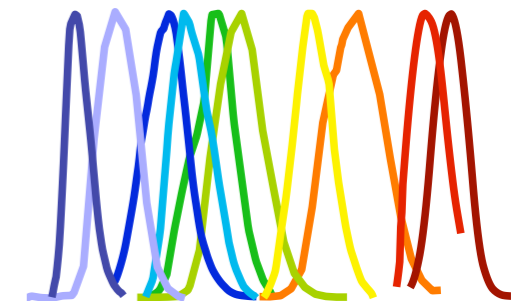
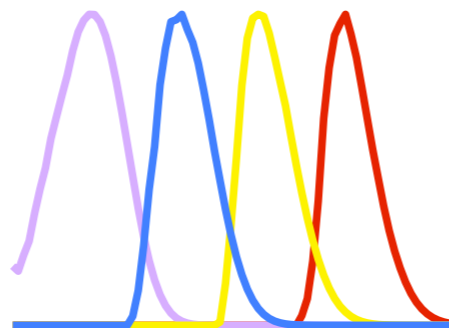
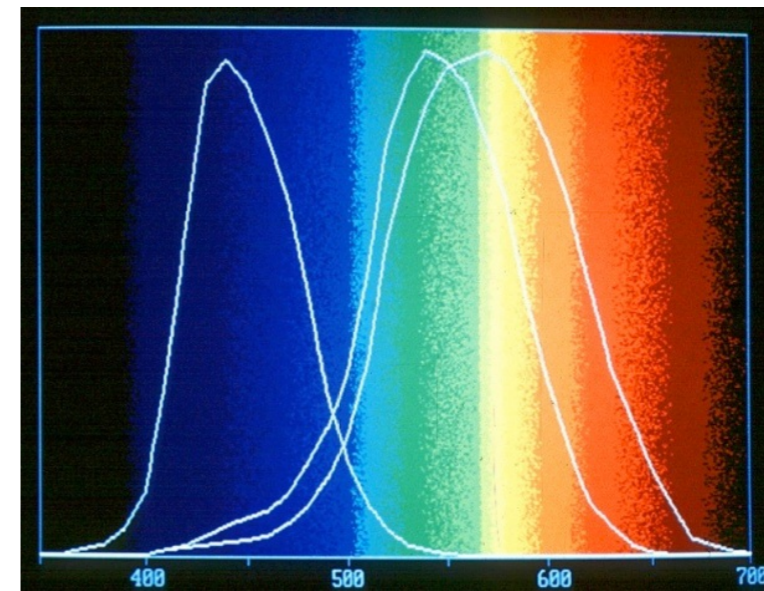
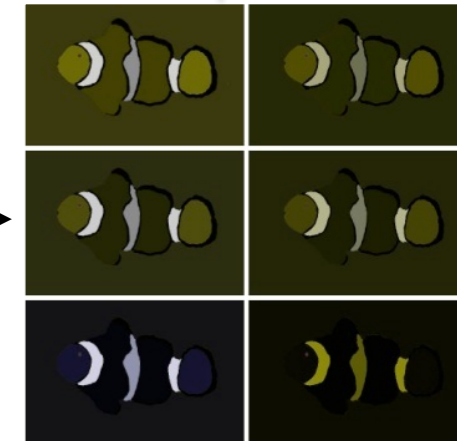
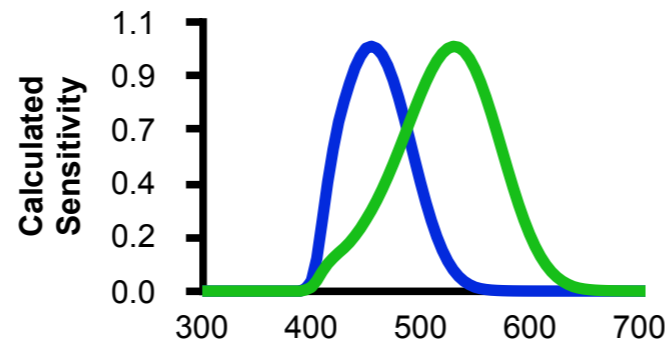
traumatická katarakta



Fotoreceptory živočichů I



Fotoreceptory živočichů II



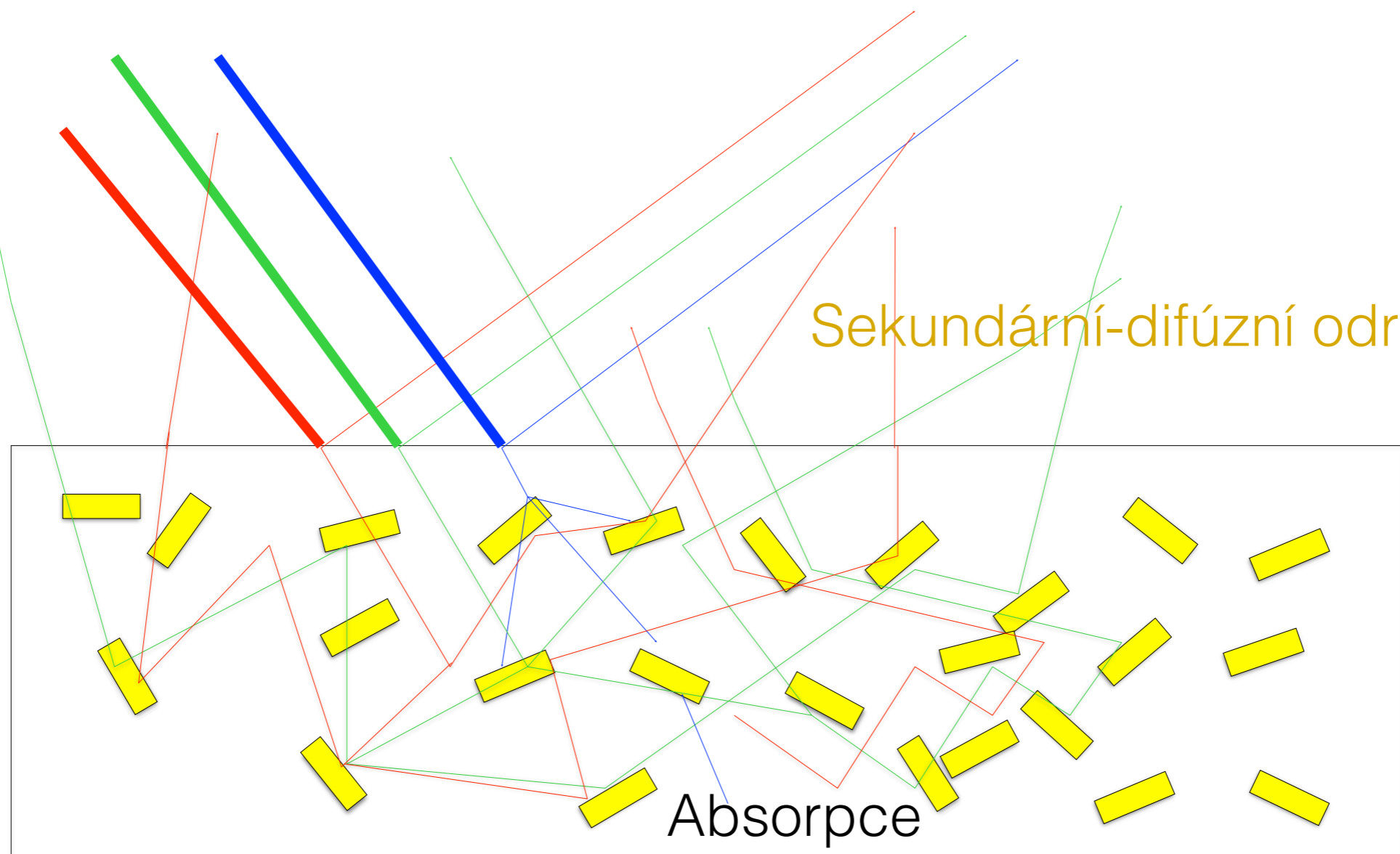
Měření barev



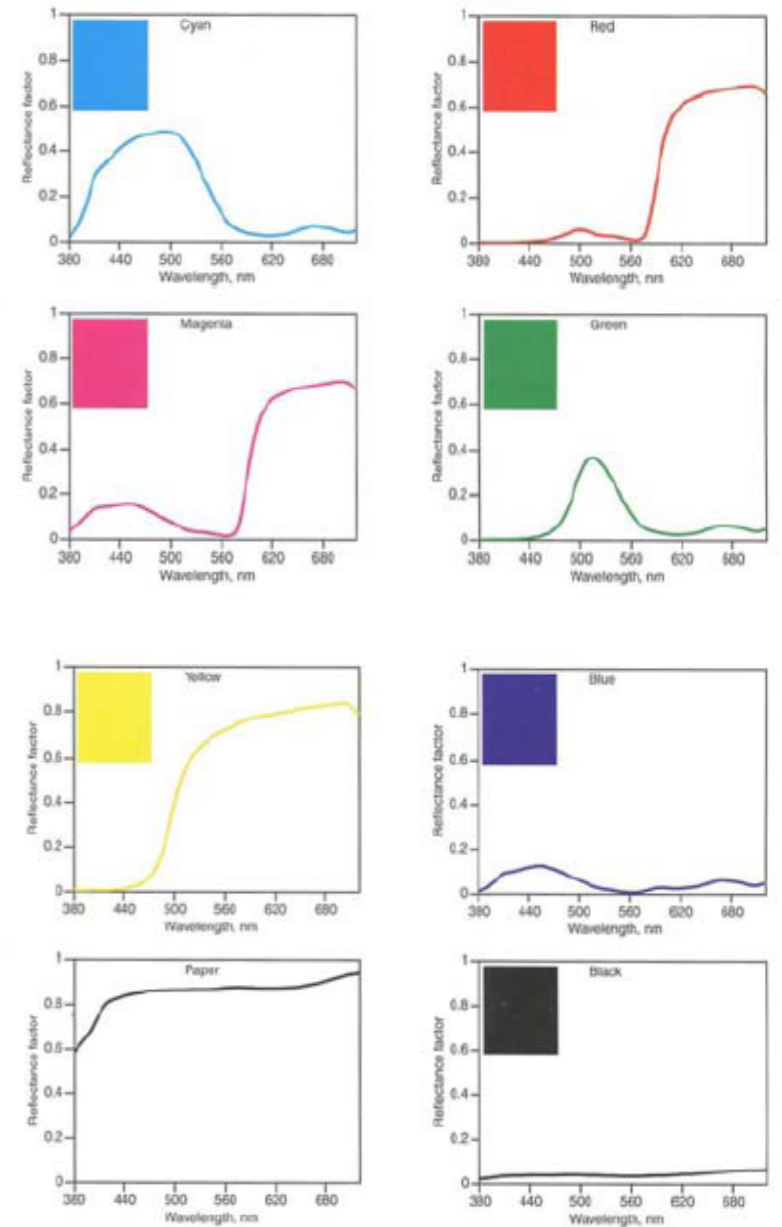
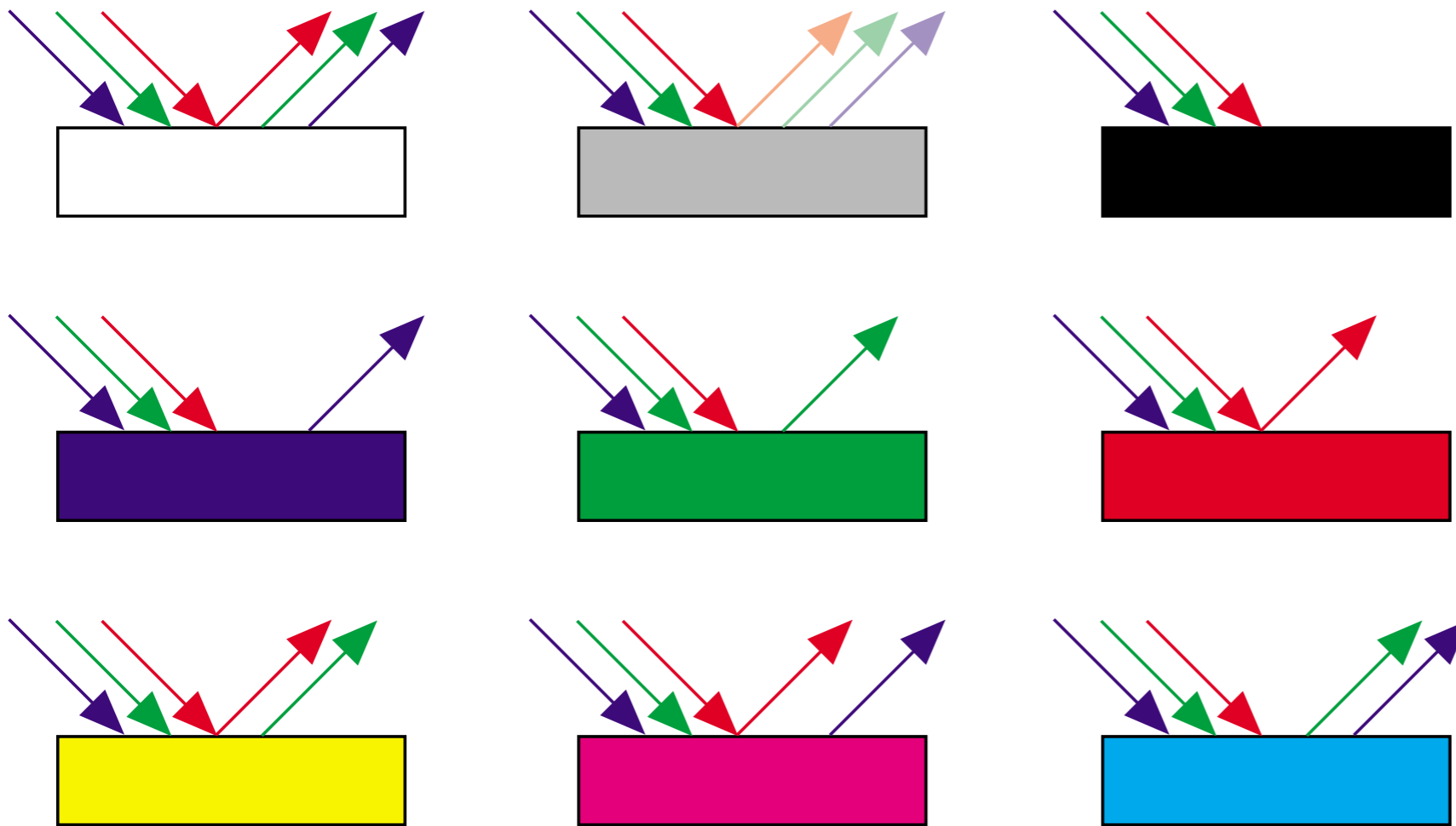
Spektrální vlastnosti objektů

Primární-zrcadlový odraz

Sekundární-difúzní odraz

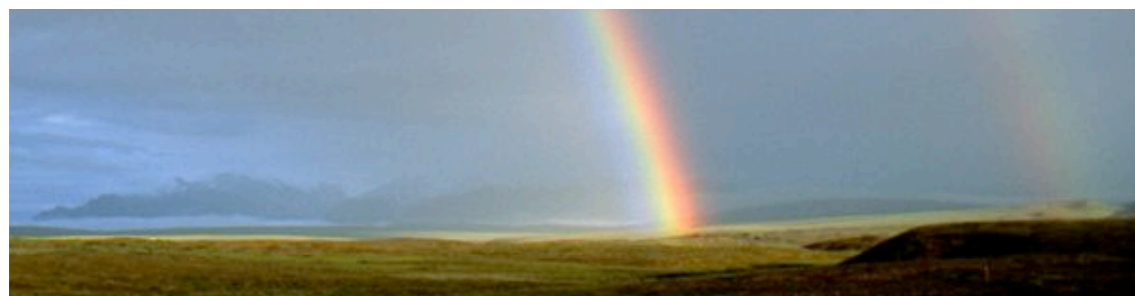


Odraz světla

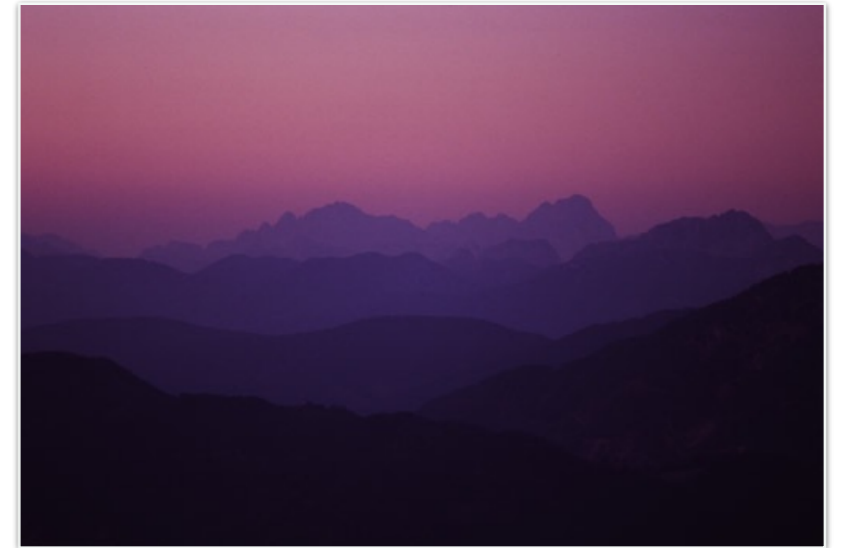


Ukázka odrazu světla od předmětu různých barev

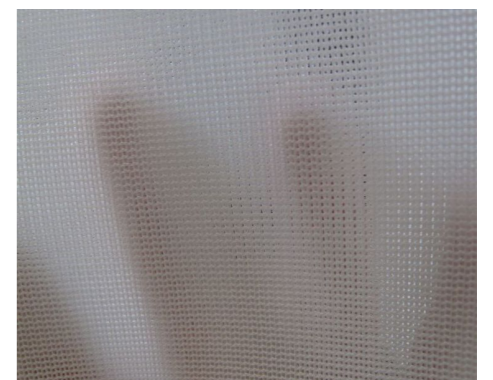
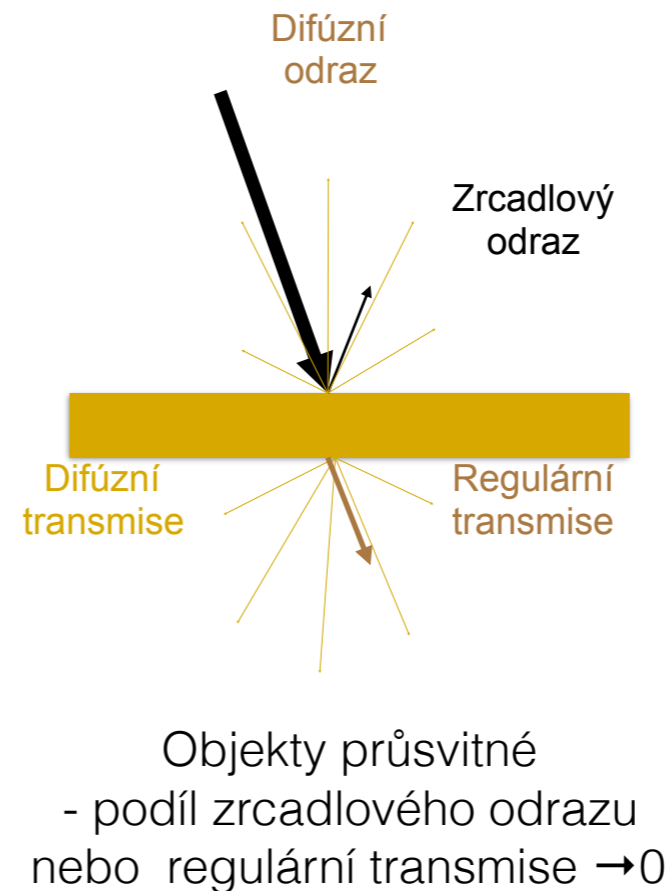
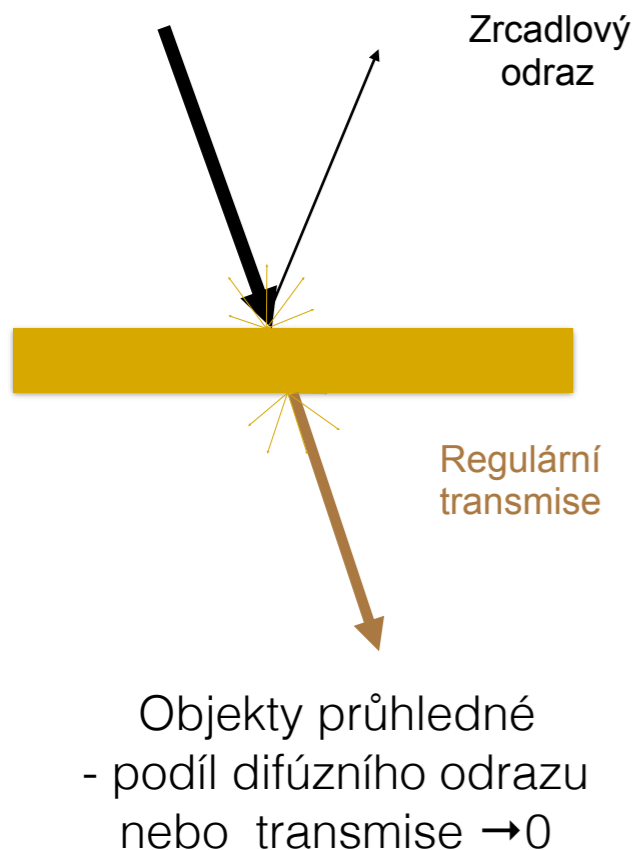
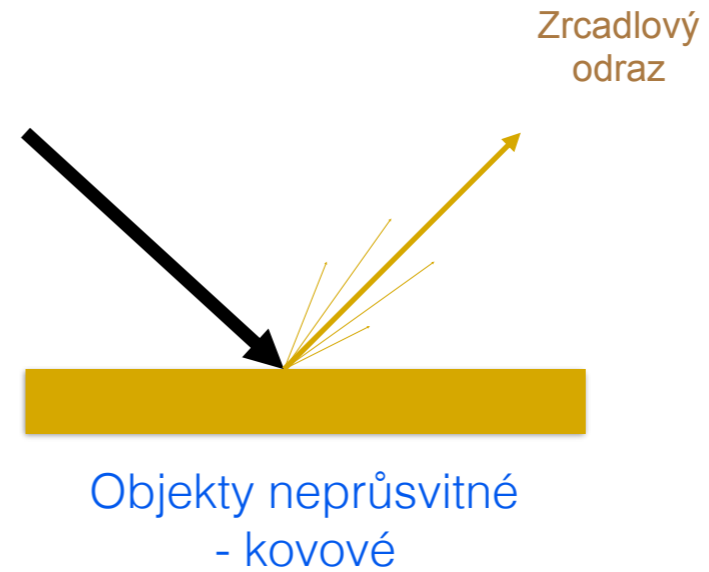
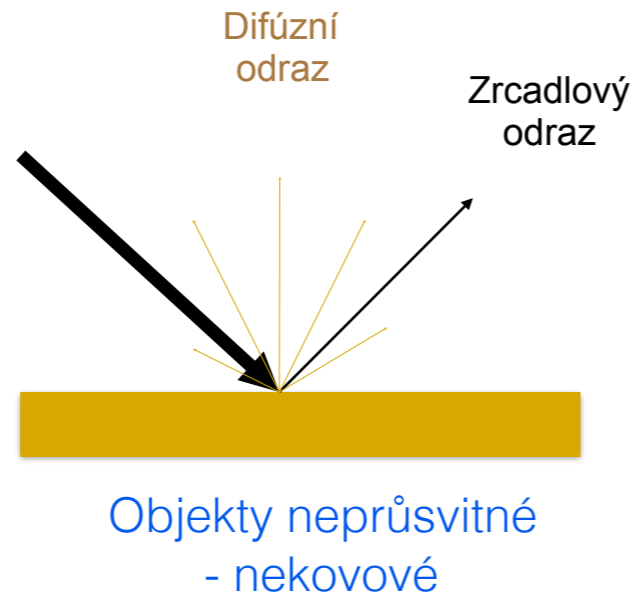
Barva objektů vzniká různými mechanismy - odraz, interference, luminiscence, difrakce...



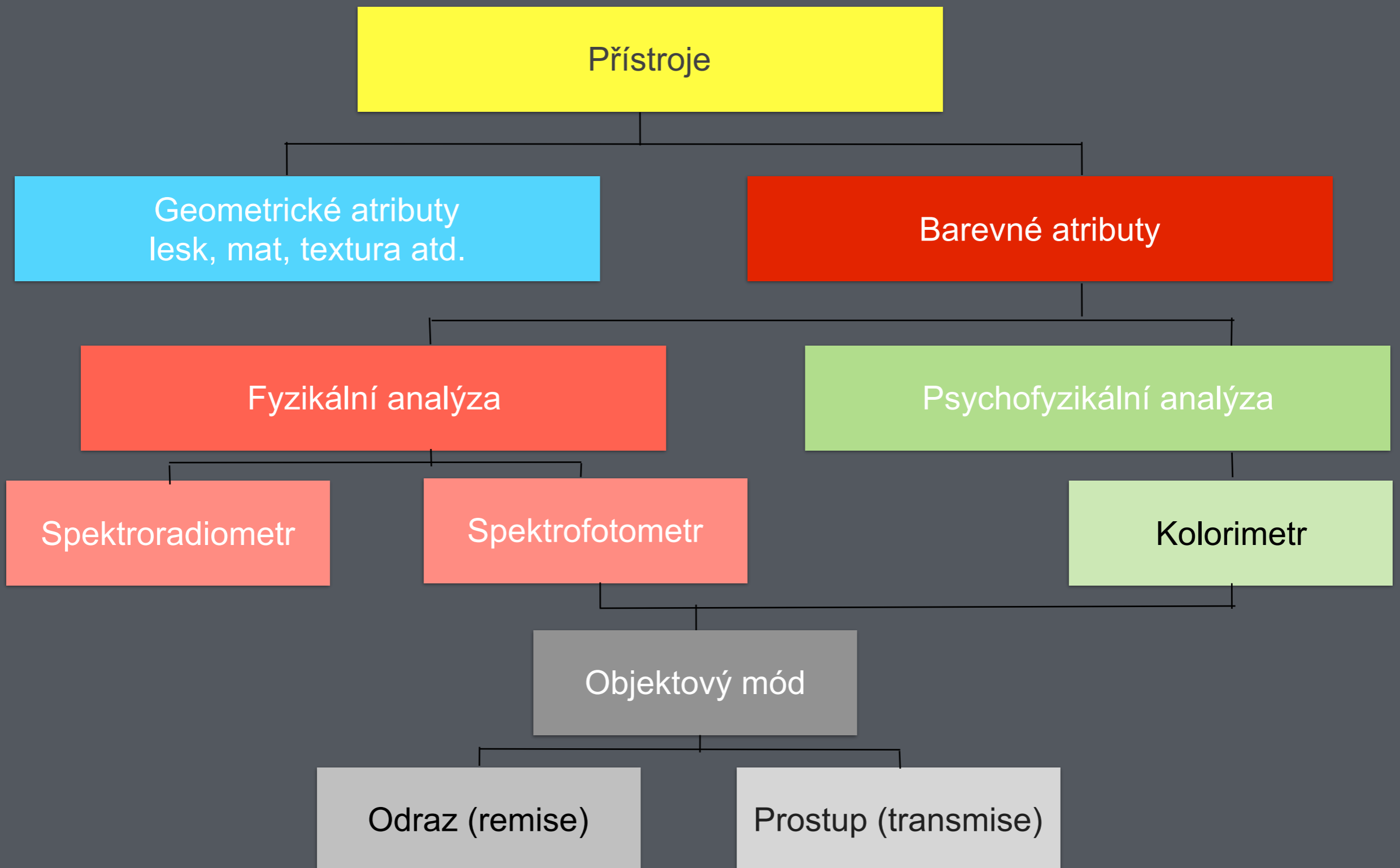
Barva objektů vzniká různými mechanismy - opalescence



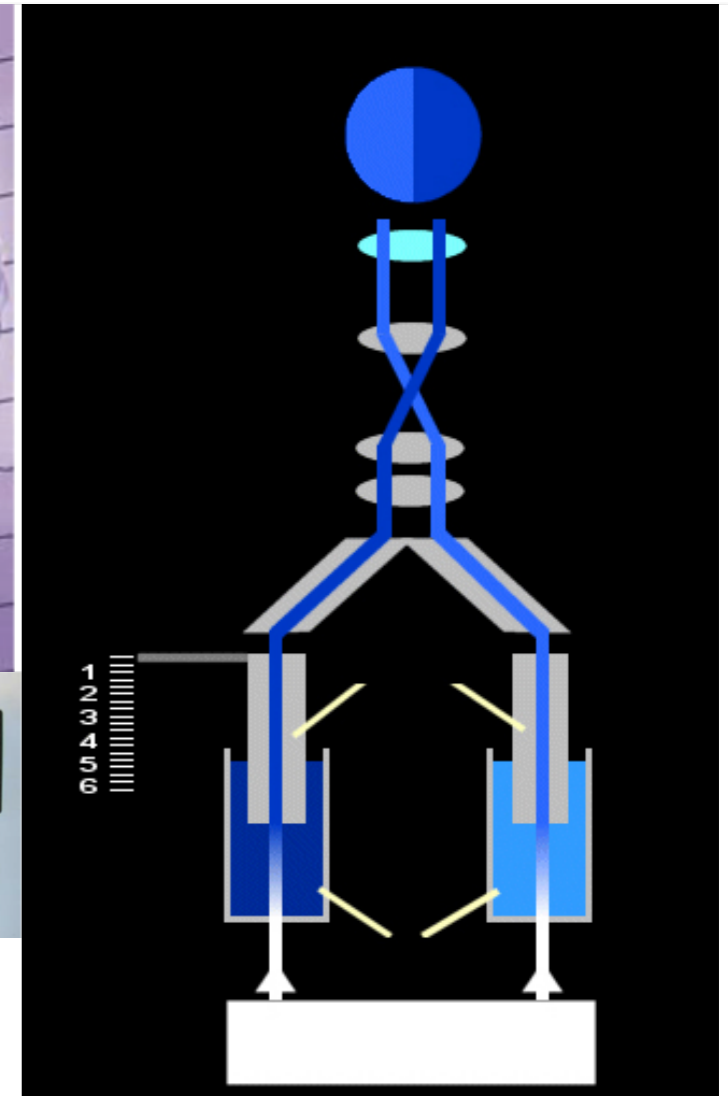
Základní rozdělení objektů podle interakce se světlem



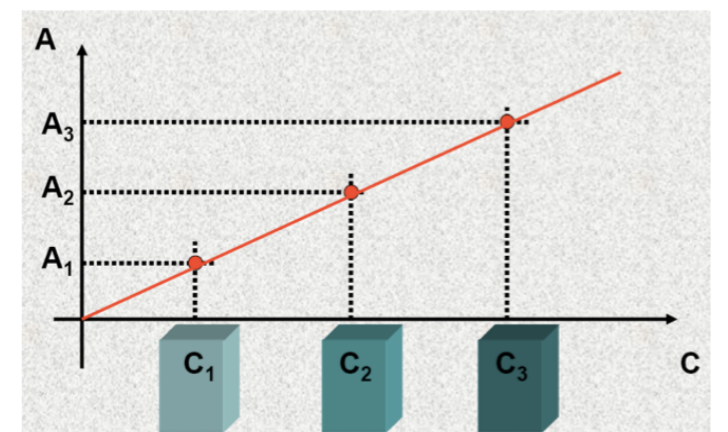
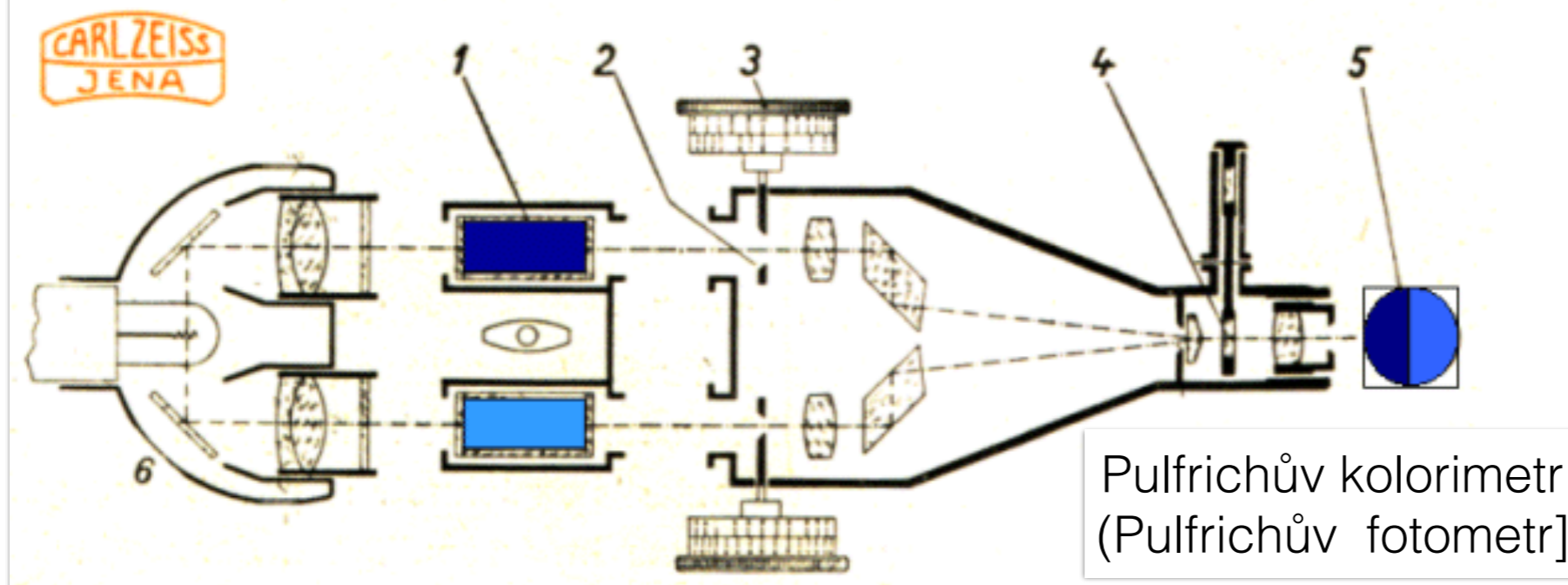
Rozdělení měřicích systémů v kolorimetrii



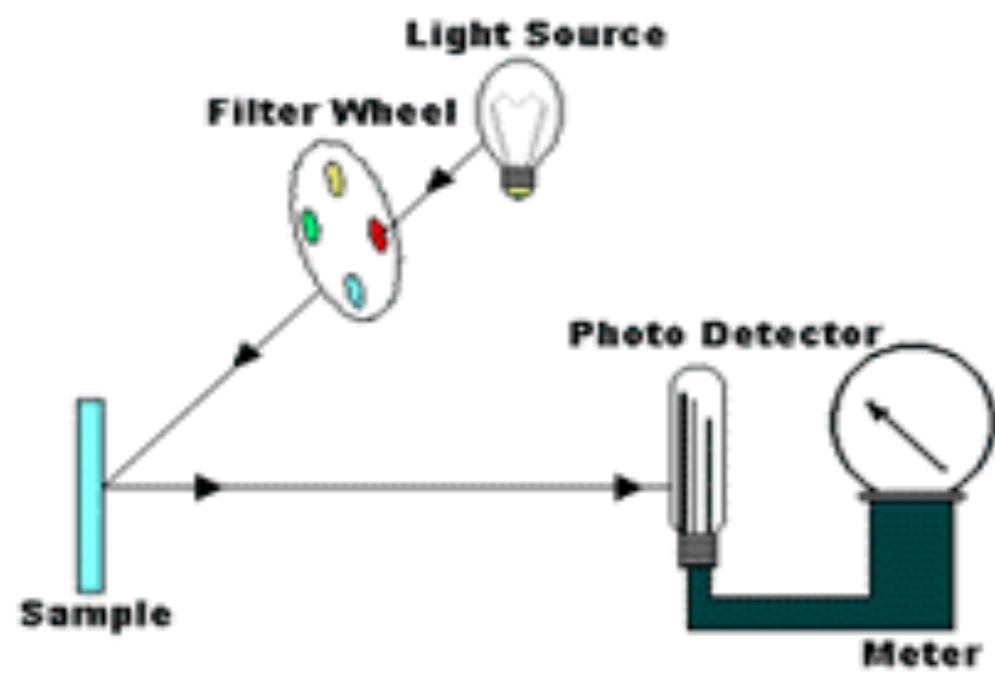
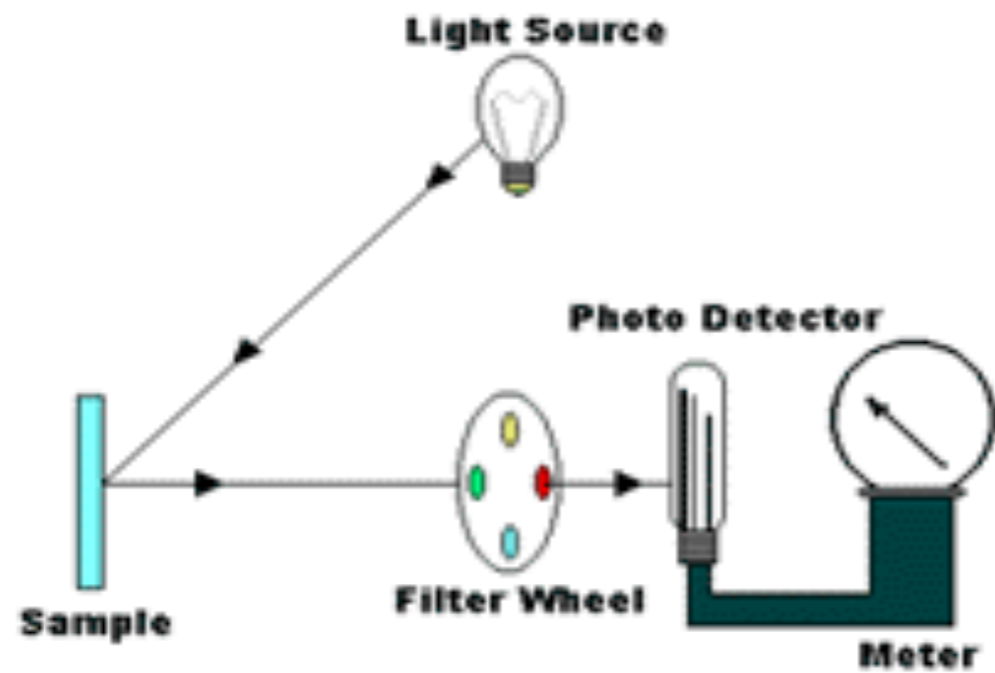
Vizuální kolorimetrie



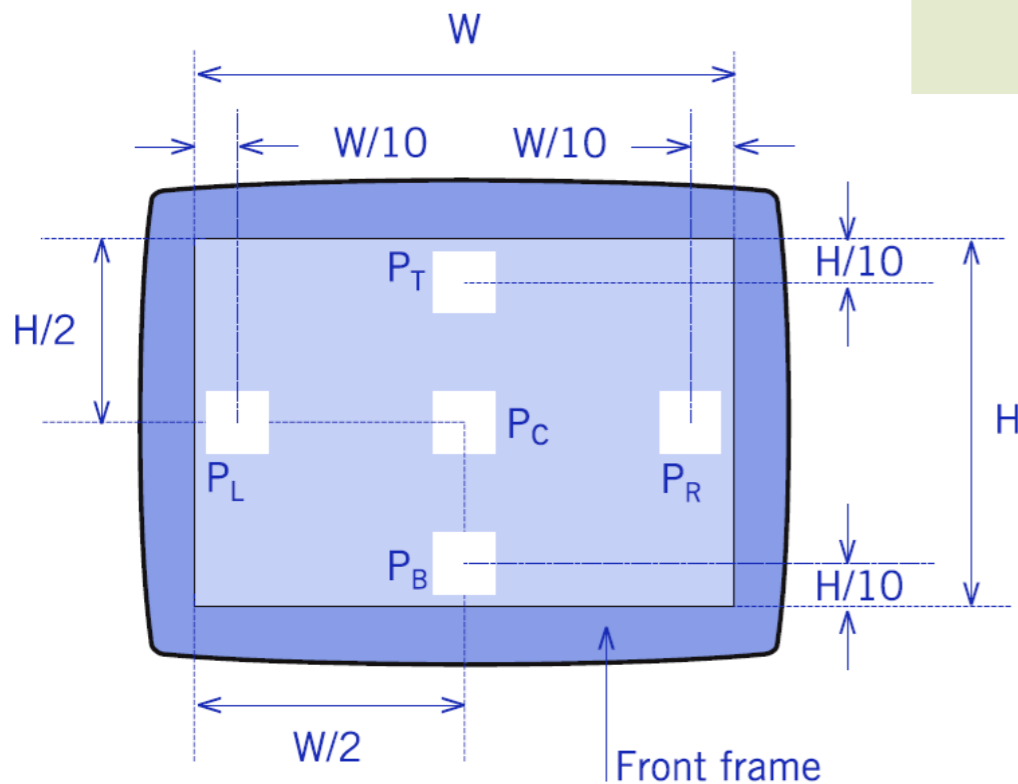
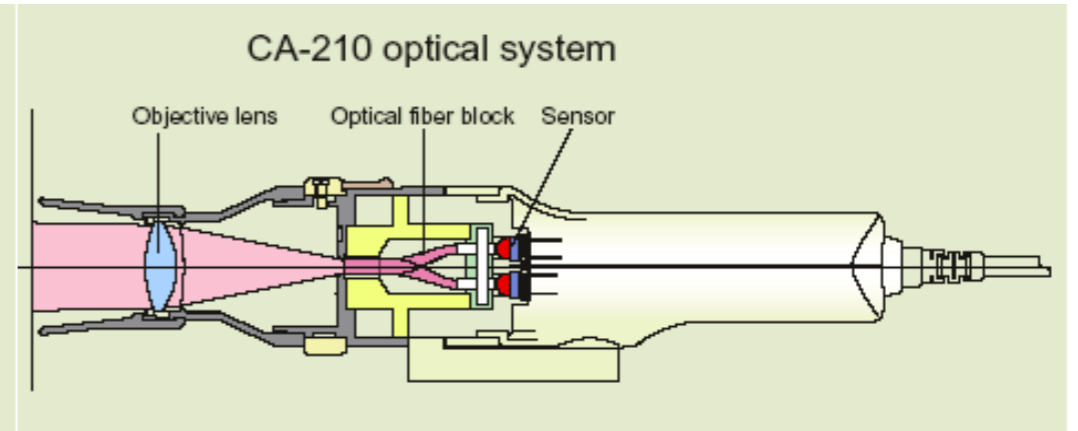
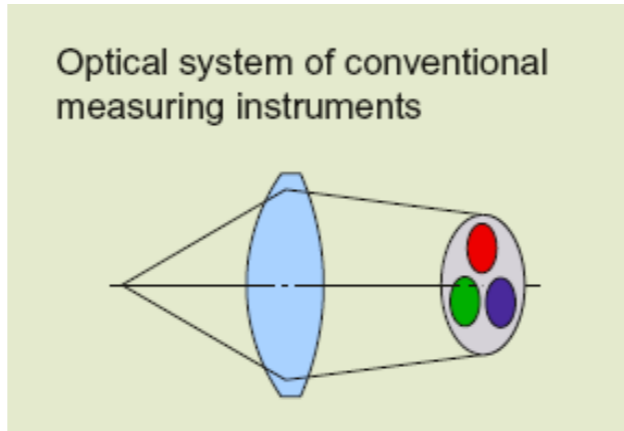
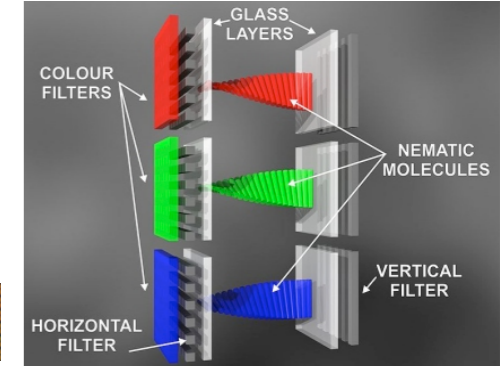
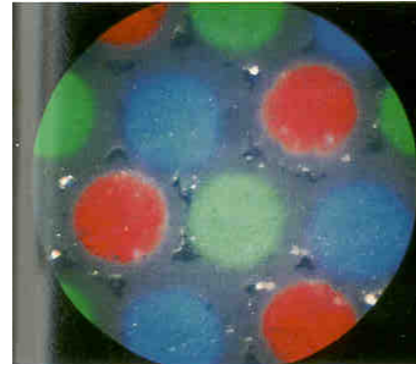
Duboscqův kolorimetr



Kolorimetri



Kalibrace monitorů

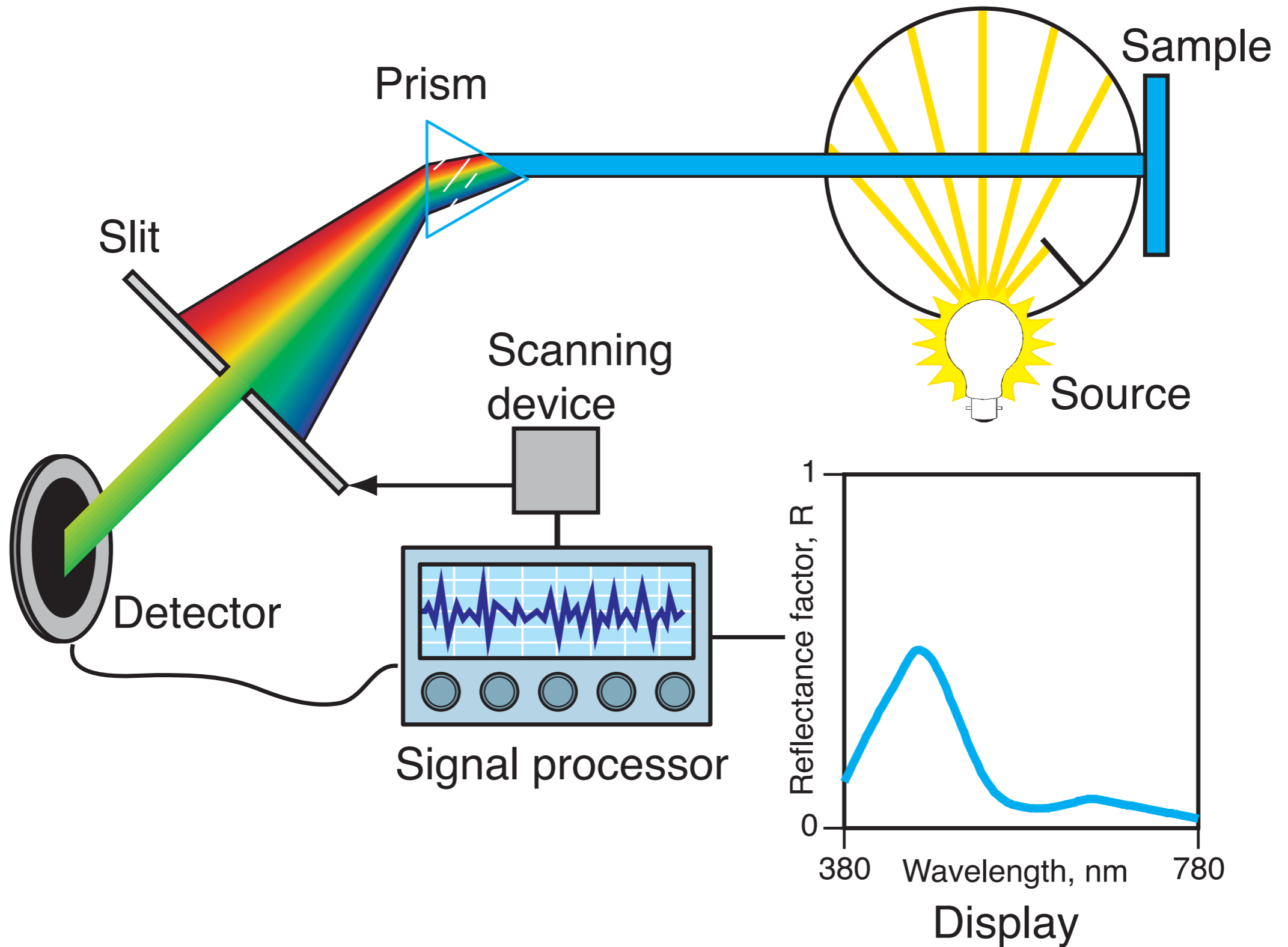


Applications

- Rear Projector, PDP, LCD, OLED, FED
- Chromaticity Inspection / Adjustment
- Quality Control of Chromaticity.
- White-Balance Inspection / Adjustment.
- Gamma Inspection / Adjustment.
- Contrast Inspection / Adjustment

Photo shows Universal Measuring Probe

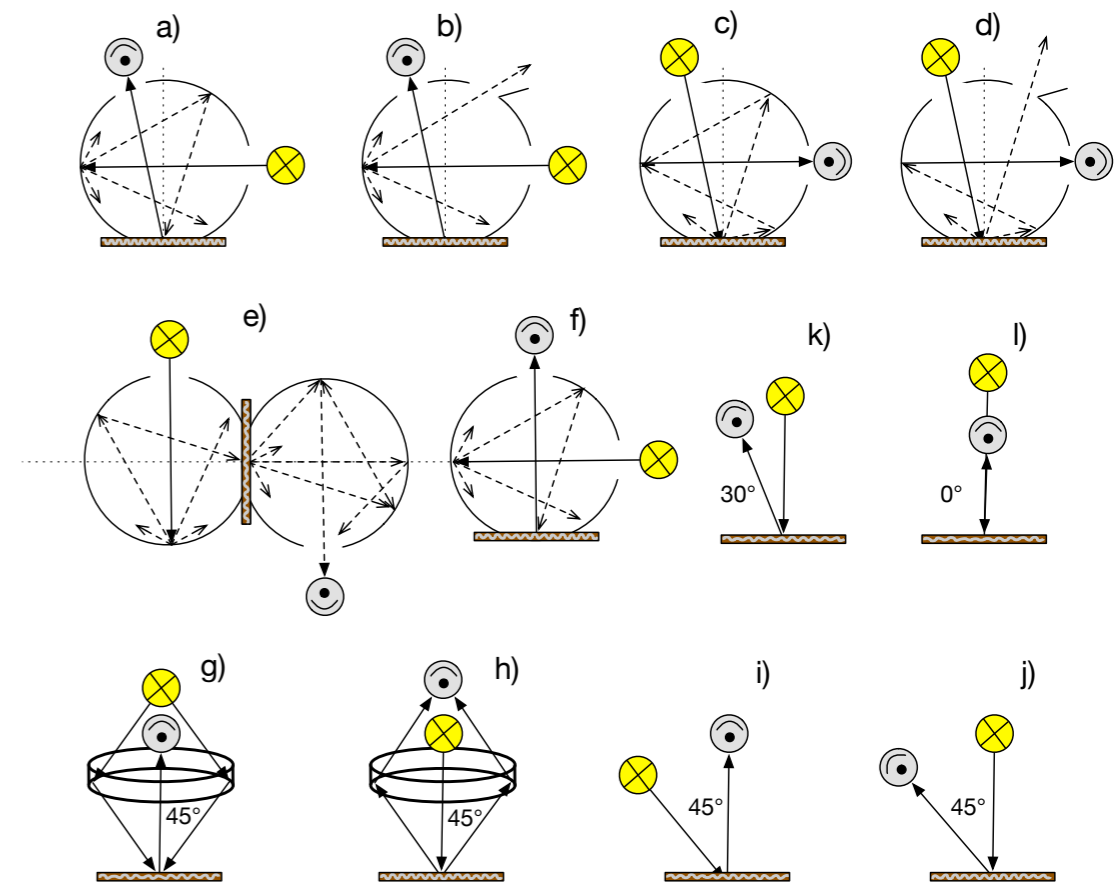
Spektrofotometrie



Současné doporučení CIE pro měření odrazivosti

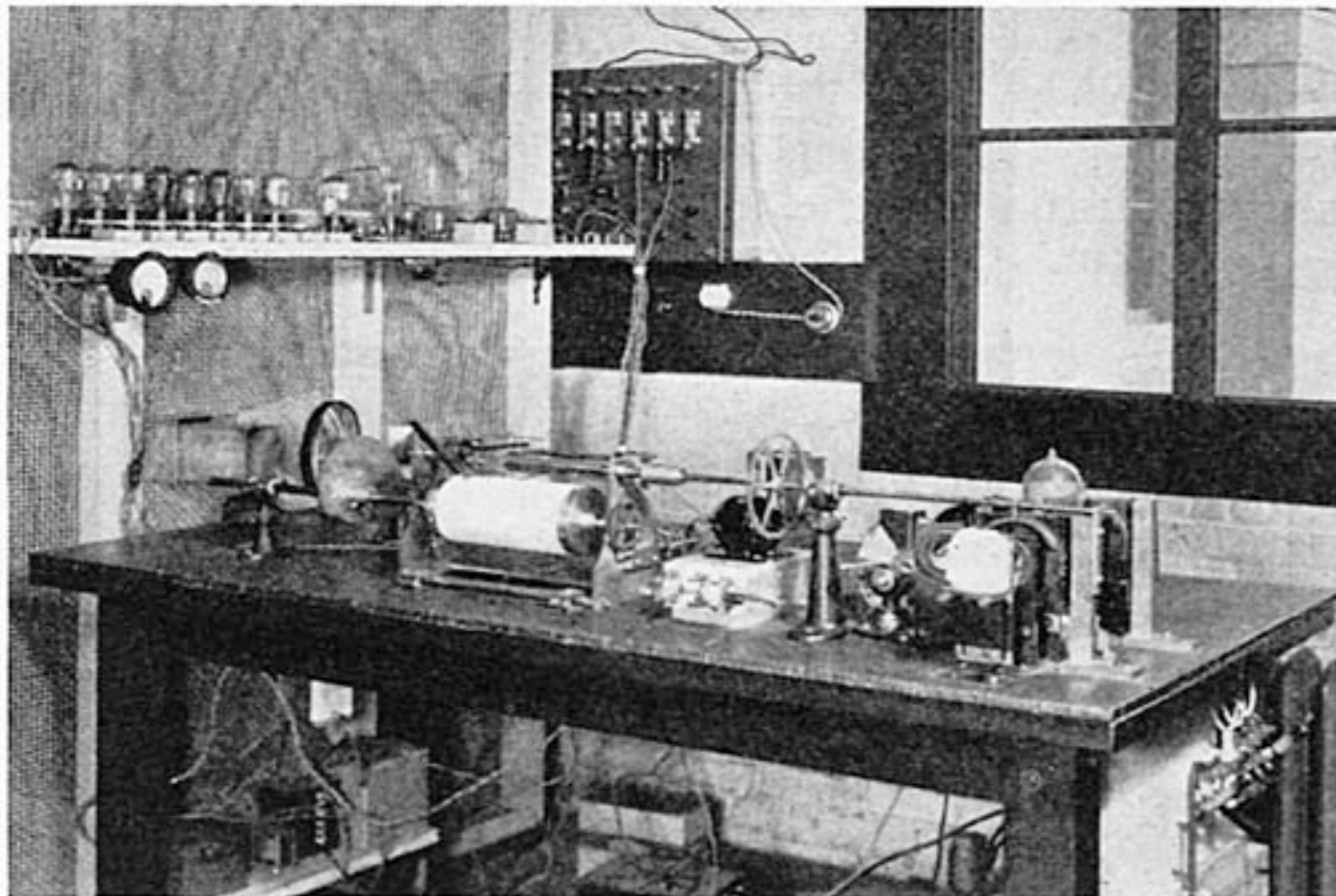
CIE 15.3 (2007) Colorimetry 3-rd edition

- 1) Diffuse: eight-degree geometry, specular component included ($d_i:8^\circ$)
- 2) Diffuse: eight-degree geometry, specular component excluded ($d_e:8^\circ$)
- 3) Eight degree: diffuse geometry, specular component included ($8^\circ:d_i$)
- 4) Eight degree: diffuse geometry, specular component excluded ($8^\circ:d_e$)
- 5) Diffuse / diffuse geometry ($d:d$)
- 6) Alternative diffuse geometry ($d:0^\circ$)
- 7) Forty-five degree annular / normal geometry ($45^\circ a:0^\circ$)
- 8) Normal / forty-five degree annular geometry ($0^\circ:45^\circ a$)
- 9) Forty-five degree directional / normal geometry ($45^\circ x:0^\circ$)
- 10) Normal / forty-five degree directional geometry ($0^\circ:45^\circ x$)



Proč tolik geometrií?

Hardyho spektrofotometry I



1928 Hardy Recording Photoelectric Color Analyzer

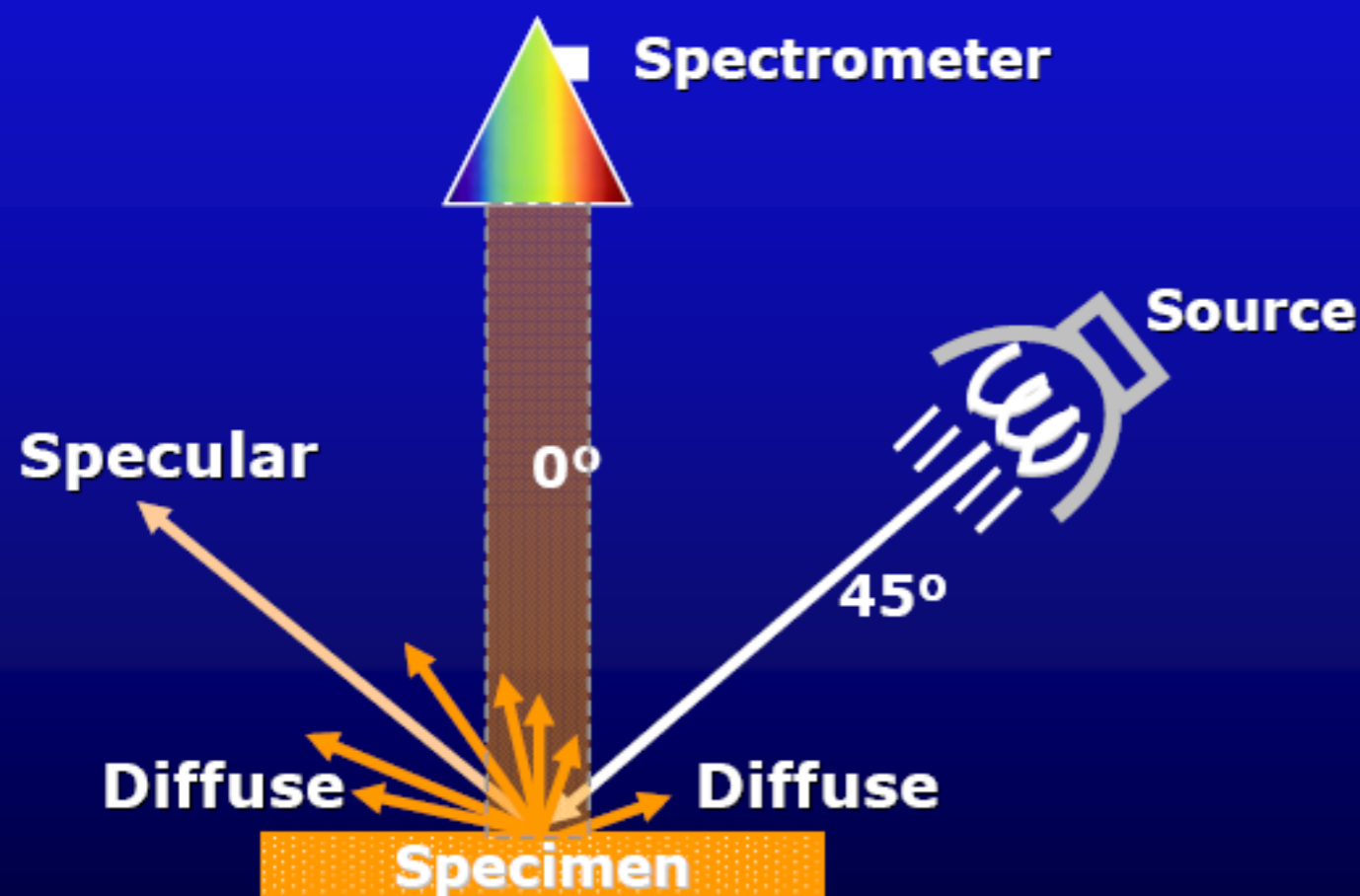


Arthur Cobb Hardy
(1895-1977)

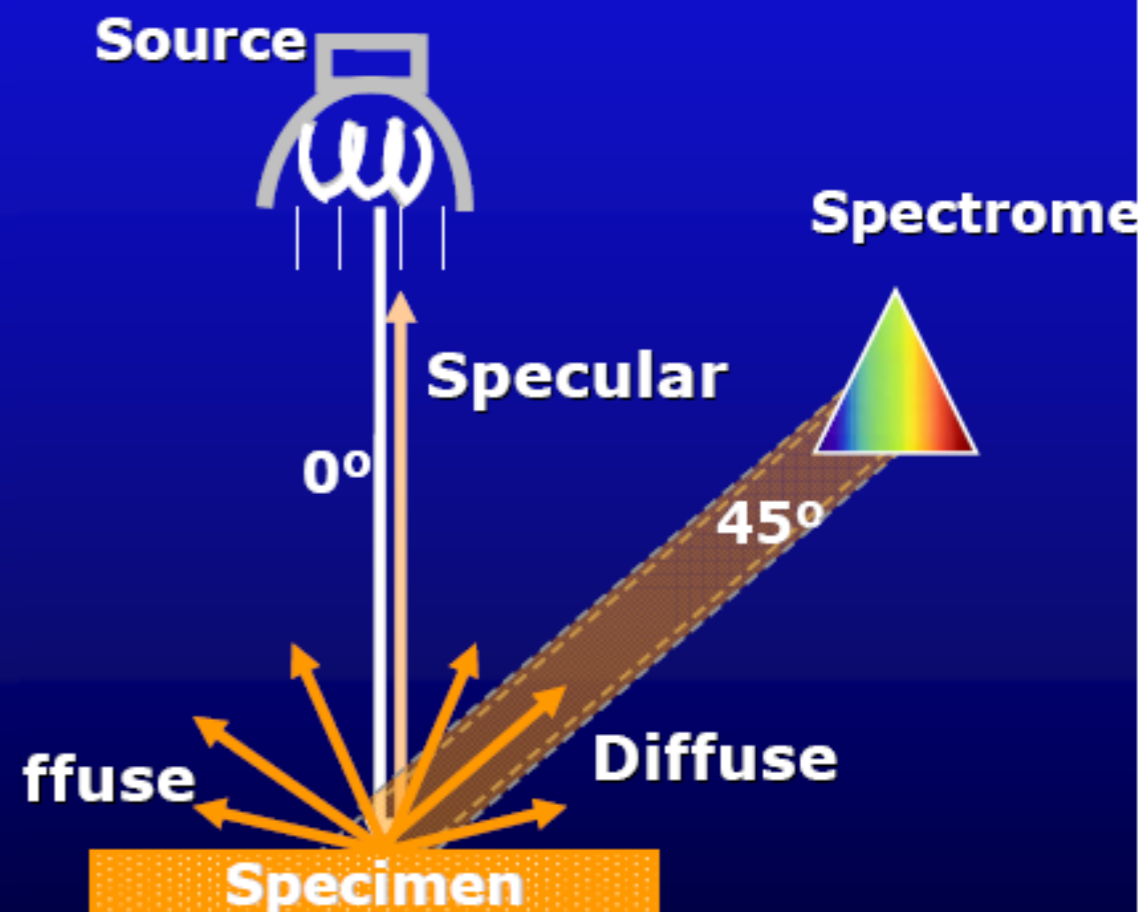
Když A.C. Hardy sestrojil první spektrofotometr zjistil, že textura u vzorků způsobuje problémy s reprodukovatelností měření!!!

Měření spektrálního činitele rozptylného odrazu

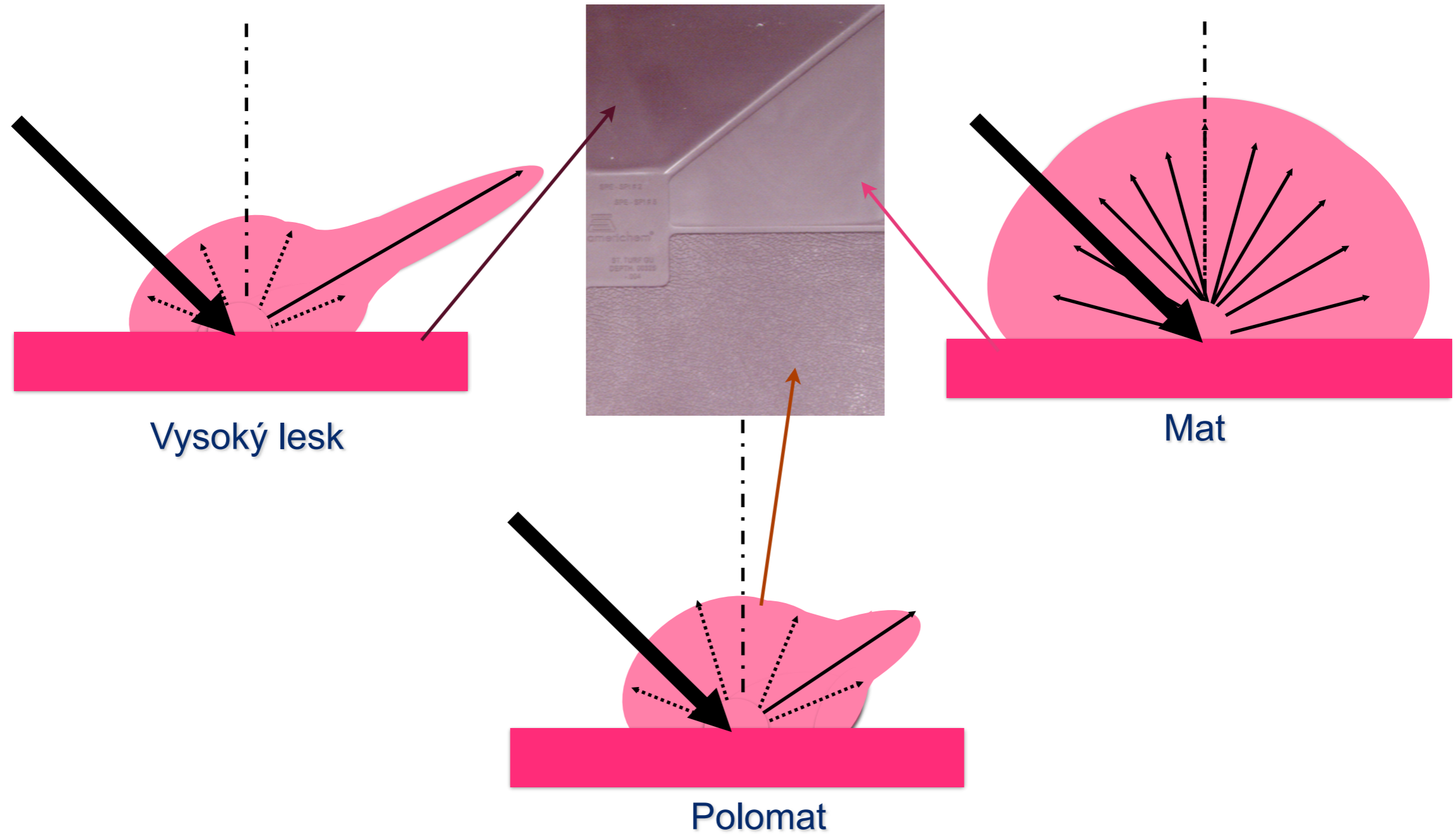
45° Illumination/0° Measure



0° Illumination/45° Measure



Odraz světla na různých površích



Hardyho spektrofotometry II

1935 – US patent
No. 1,987,441

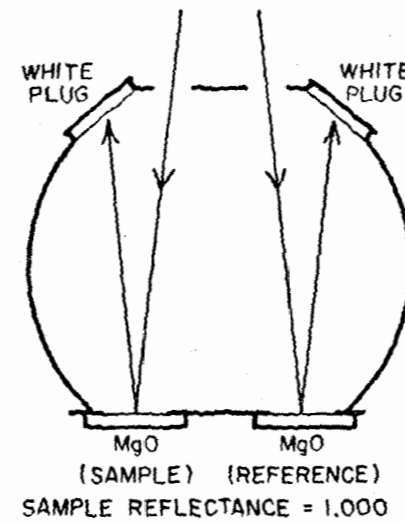
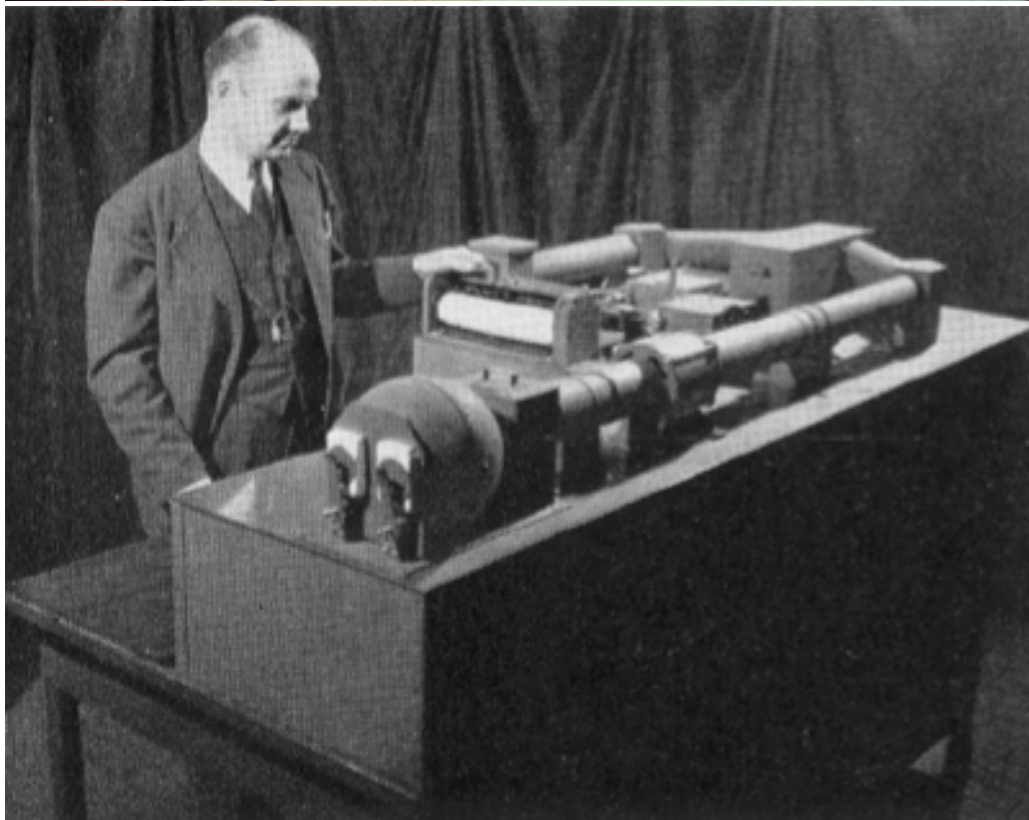


FIGURE 1-A

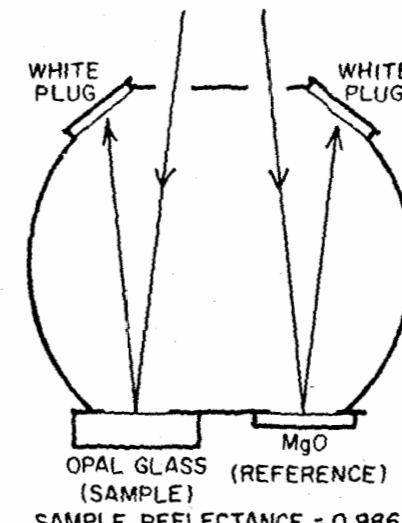


FIGURE 1-B

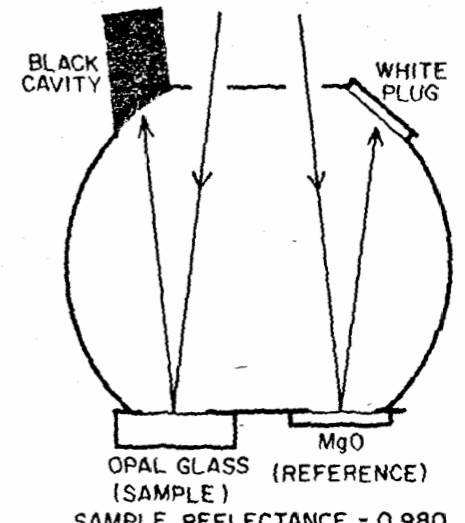


FIGURE 1-C

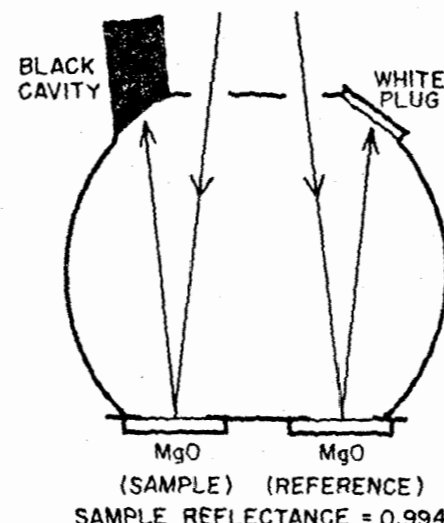


FIGURE 1-D

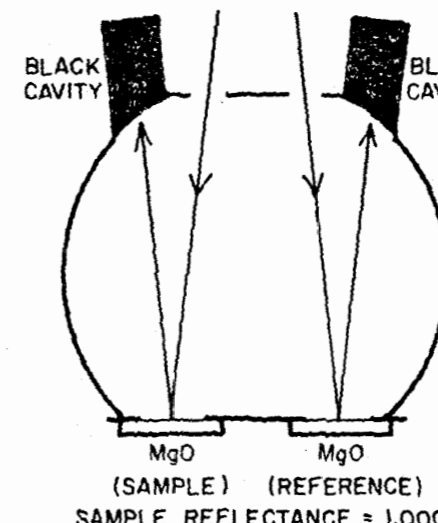


FIGURE 1-E

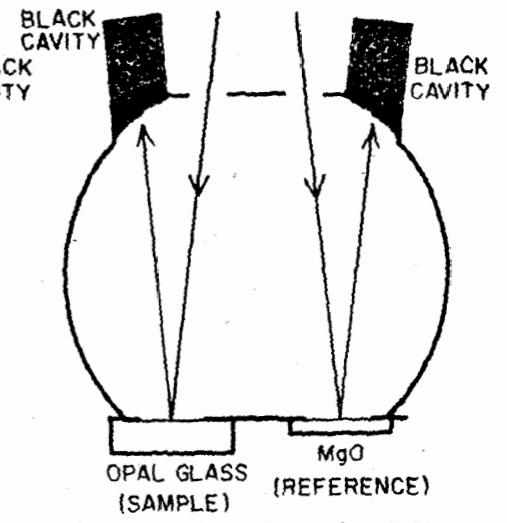
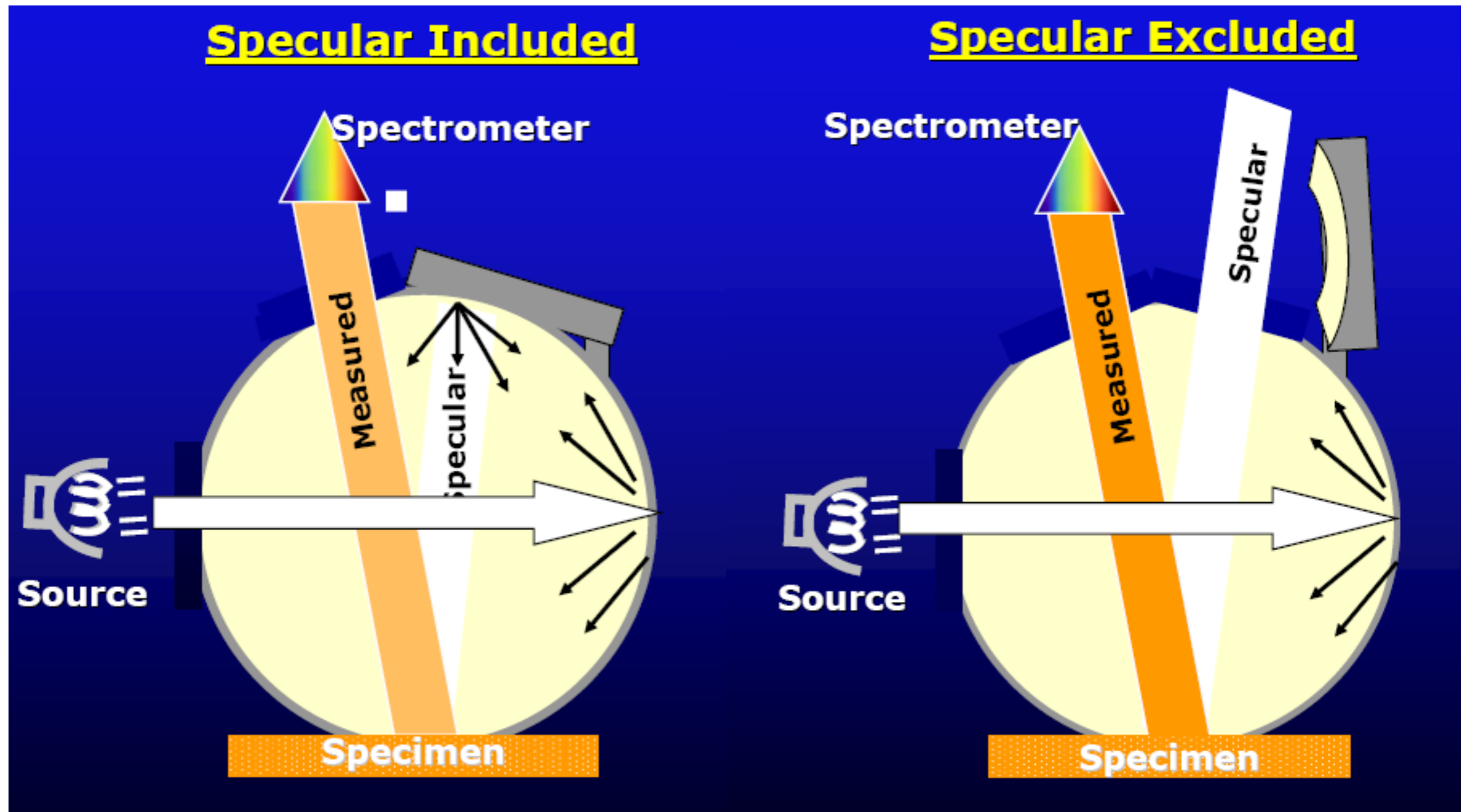


FIGURE 1-F

Úžasný přístroj - šířka měřeného pásma 5 nm, remisní data byla automaticky přepočítávána na trichromatické složky XYZ

Měření celkového spektrálního činitele odrazu



SCI – $d_i:8^\circ$

Specular component included
(včetně zrcadlové složky odrazu)

SCE – $d_e:8^\circ$

Specular component excluded
(bez zrcadlové složky odrazu)

Geometrie 0°/45°



| | ΔL^* | Δa^* | Δb^* |
|-----|--------------|--------------|--------------|
| SCE | 1.4 | -1.5 | -1.2 |

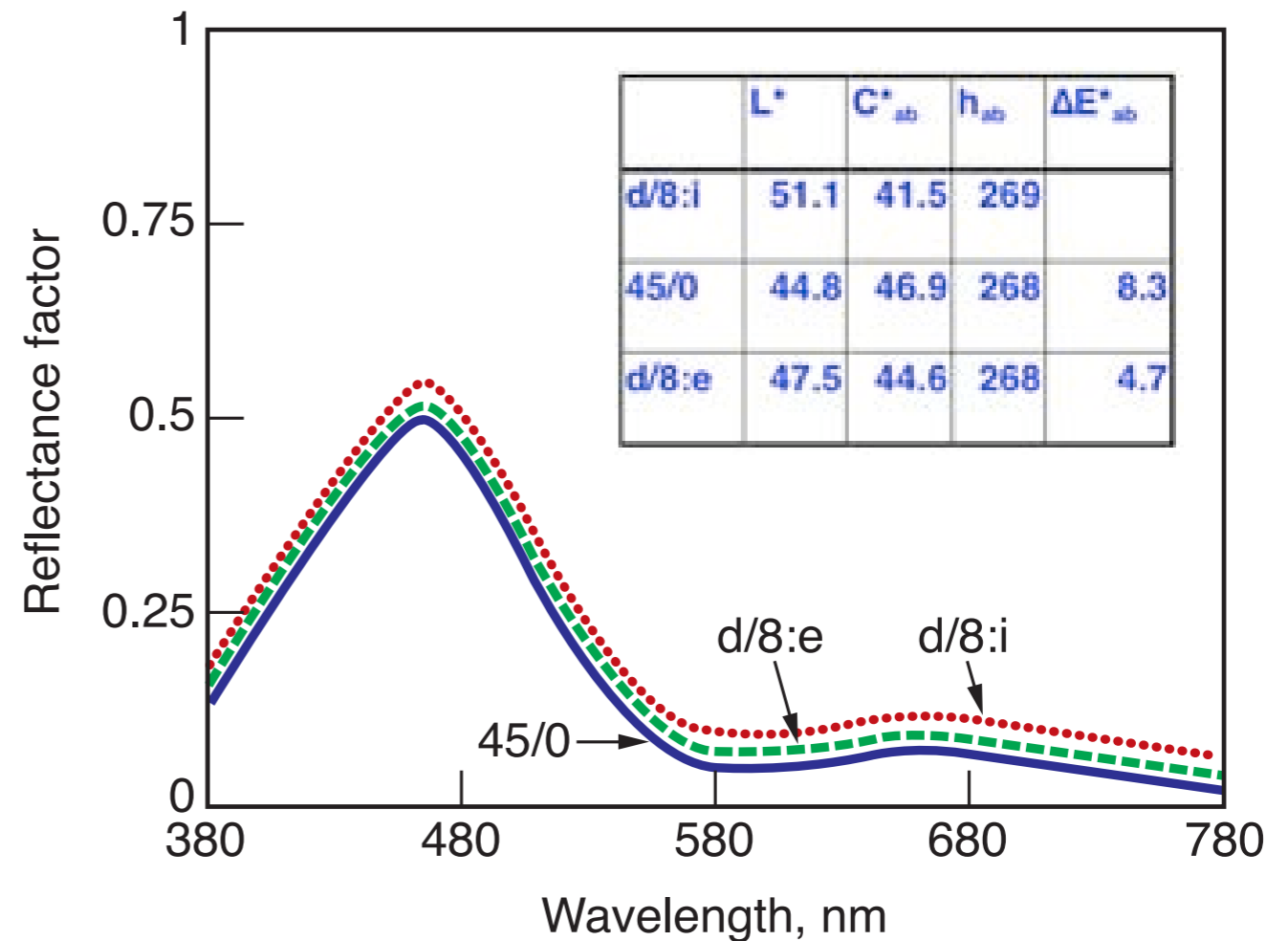
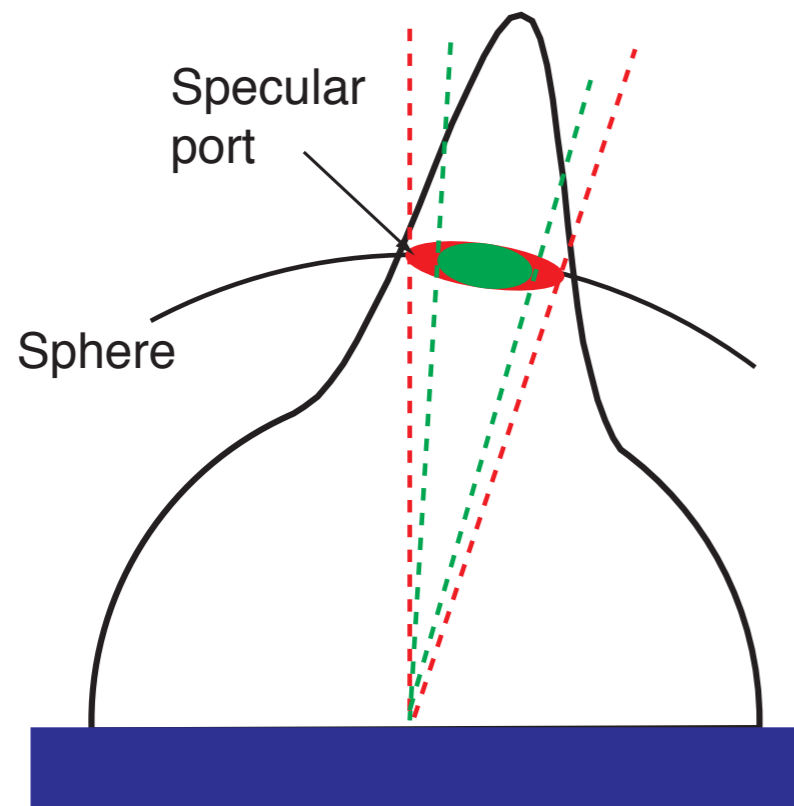
(bez zrcadlové složky odrazu)

Měřicí geometrie d:8°

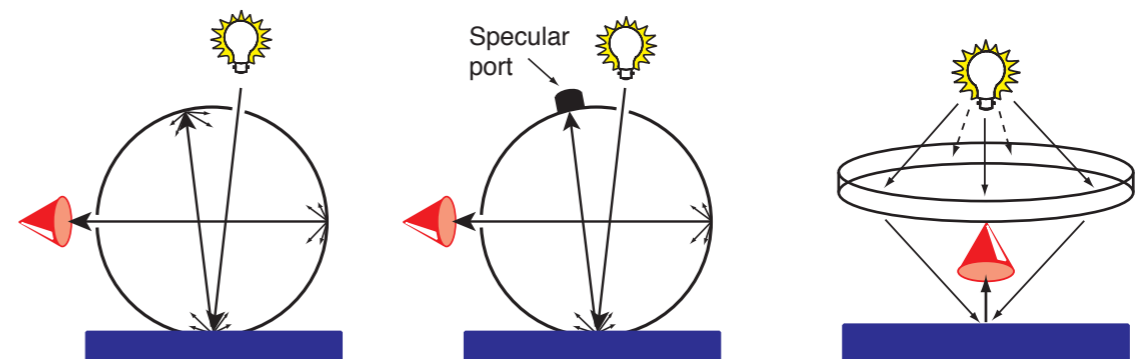


| | ΔL^* | Δa^* | Δb^* |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| SCI | 0.0 | 0.1 | -0.0 |
| (včetně zrcadlové složky odrazu) | | | |
| SCE - | 1.8 | -1.6 | -0.9 |
| (bez zrcadlové složky odrazu) | | | |

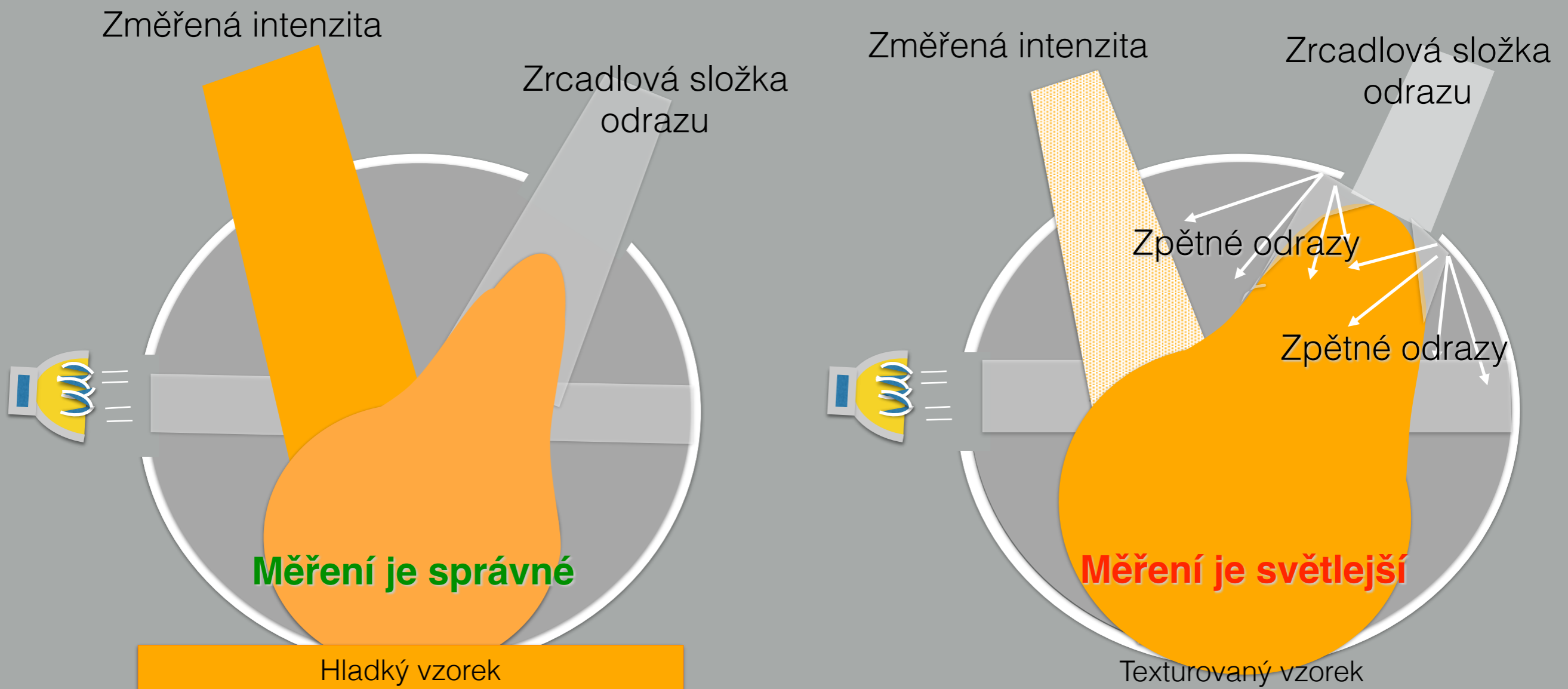
Rozdíly mezi měřícími geometriemi



Rozdíl mezi velikostí výstupní apertury u difúzních měřících geometrií vztažených na ideálně hladký vzorek a velikostí apertury nutné pro vyloučení leskové složky u reálných vzorků má za následek neshodu mezi daty naměřenými $45^\circ:0^\circ$ (SCE) a $d/8:8^\circ$ (SCE)



Měřicí geometrie $D/8^\circ$ – problém měření v módu SCE



Vliv textury na měření barevných rozdílů



Sphere Geometry

| | ΔL^* | Δa^* | Δb^* |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| Specular Included | 0.1 | -0.1 | 0.1 |
| Specular Excluded | 2.0 | 0.5 | 1.0 |

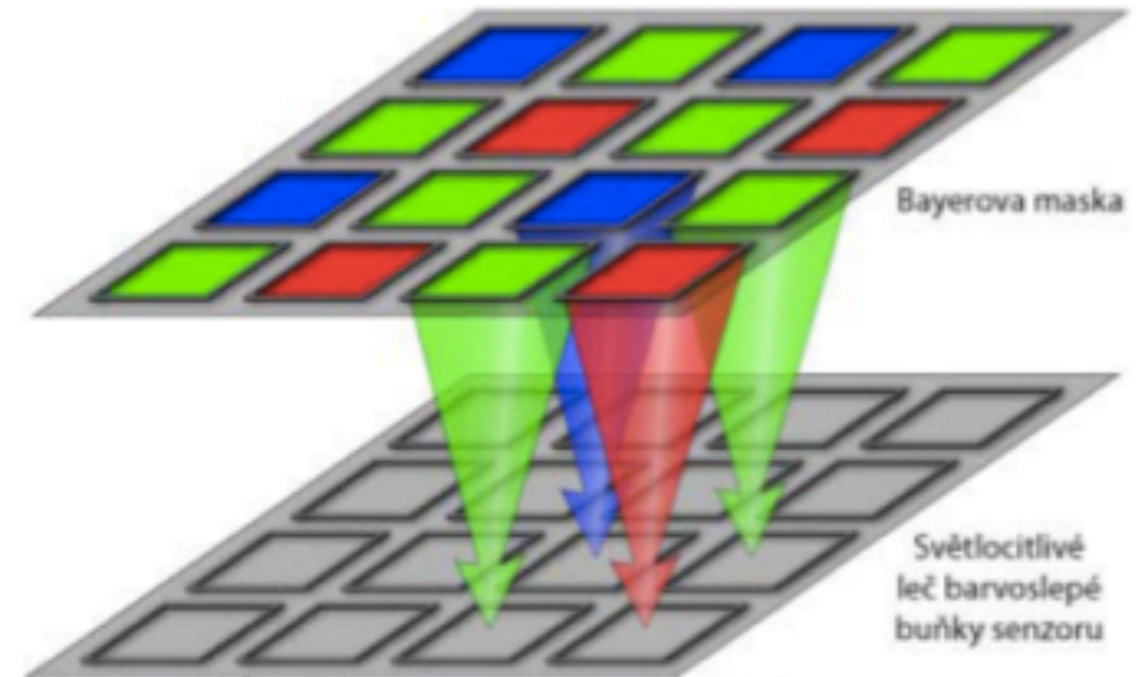
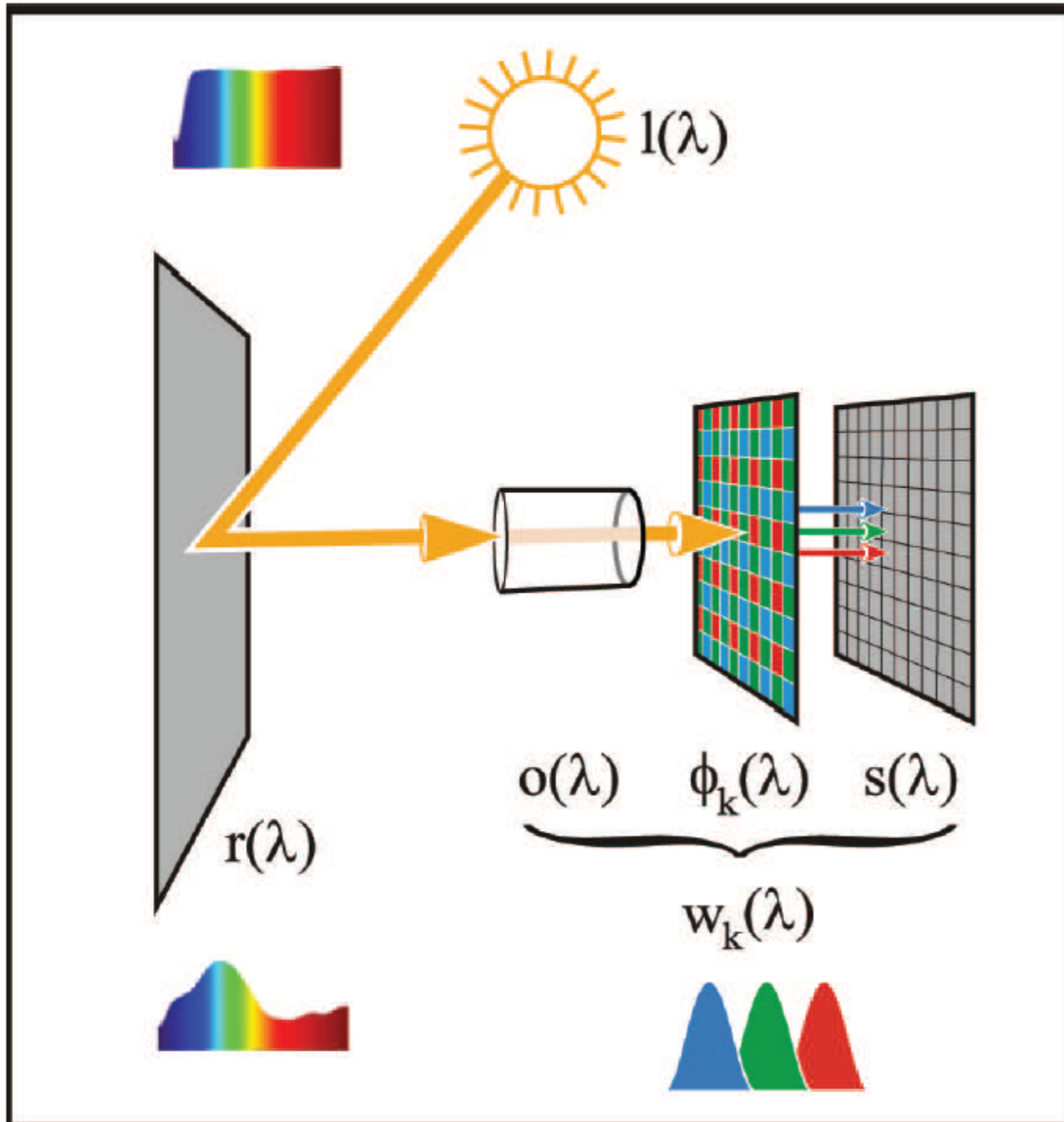
0°/45° Geometry

| | ΔL^* | Δa^* | Δb^* |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| Specular Excluded | 5.2 | 1.8 | 2.5 |

Obrazová analýza I



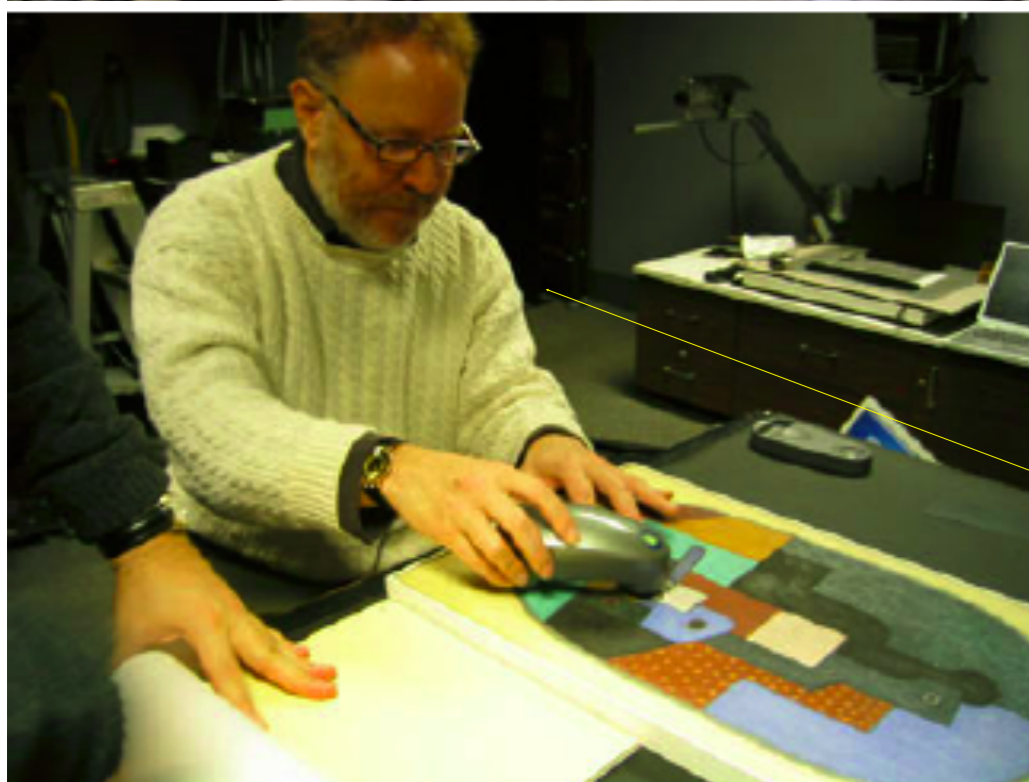
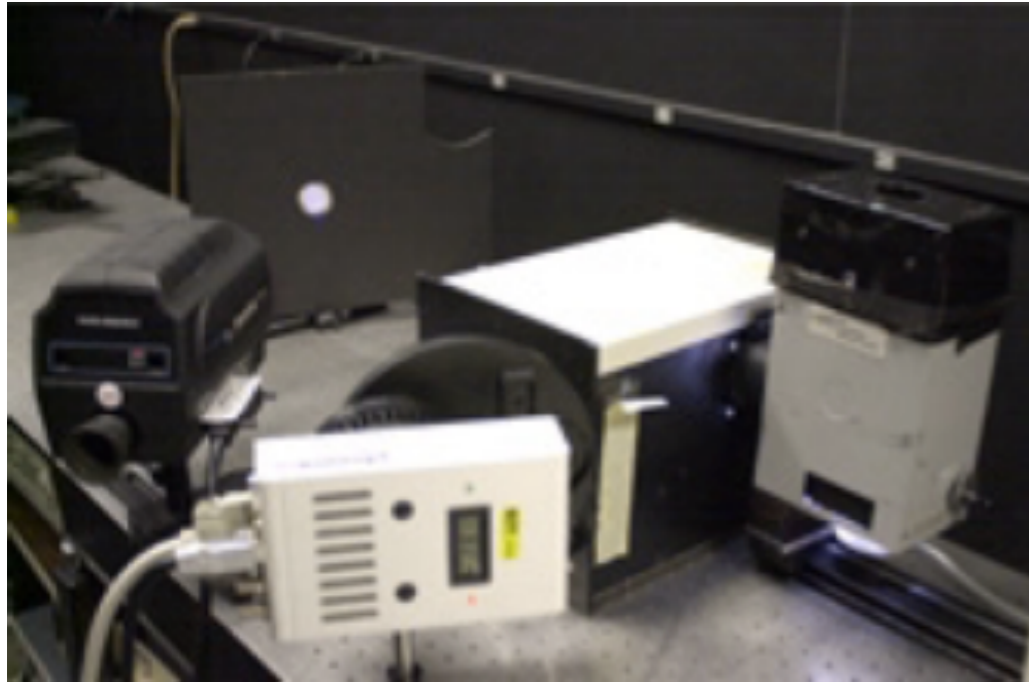
Obrazová analýza II



Aby bylo možné zjistit barvu, a tím vytvořit plnobarevný pixel obrazu, pomáhají si fotoaparáty malým trikem založeným na tzv. Bayerově masce.

Bayerova maska je soustava tristimulárních filtrů umístěných před senzorem - každá buňka senzoru je pak citlivá pouze světlo určité barvy.

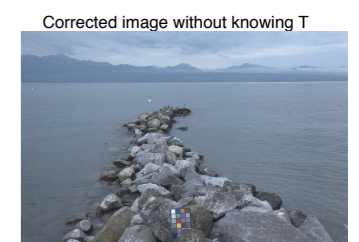
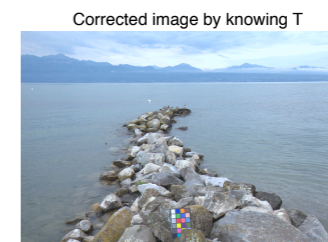
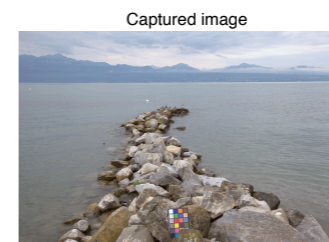
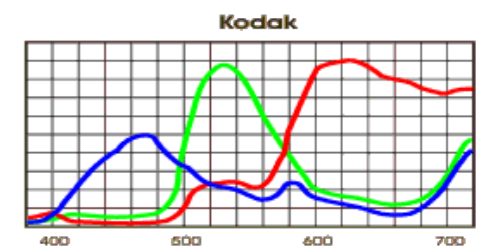
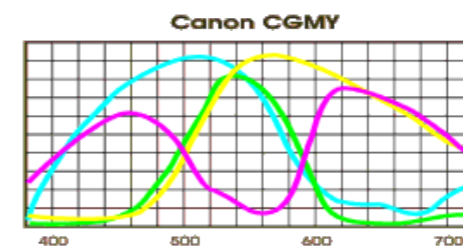
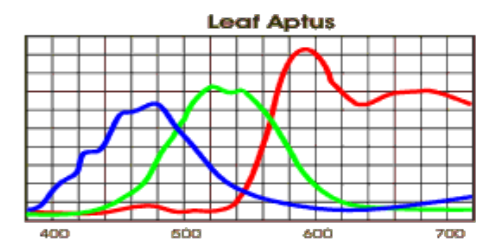
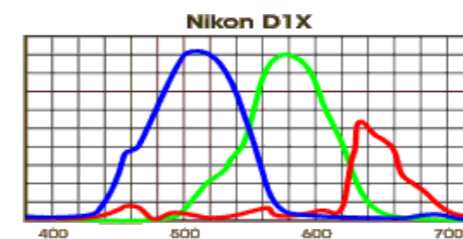
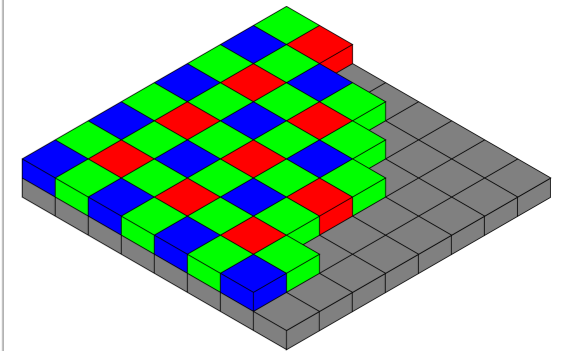
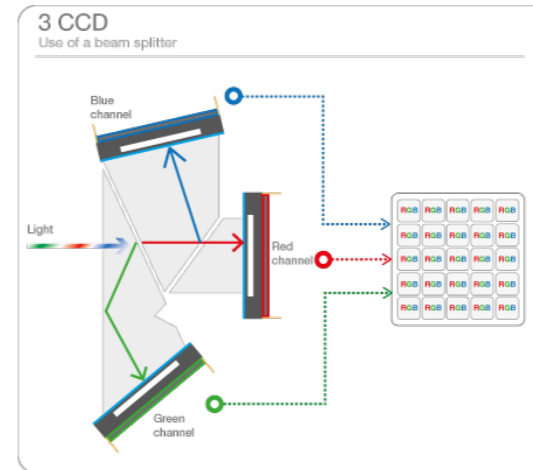
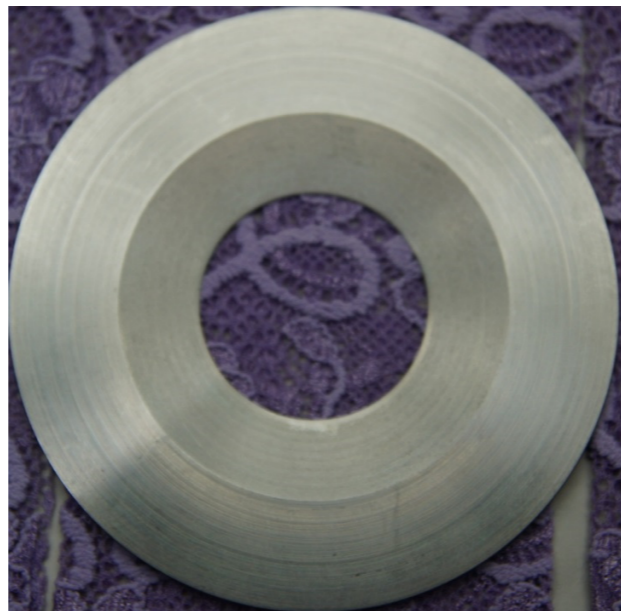
Obrazová analýza III



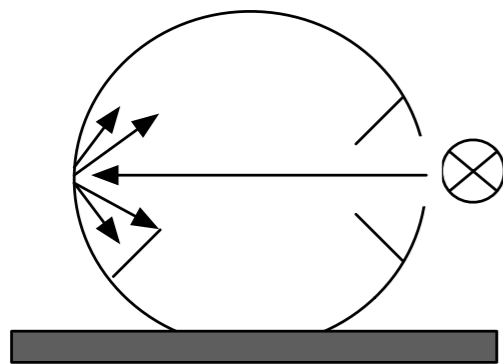
Prof. Roy Berns,
MCSL



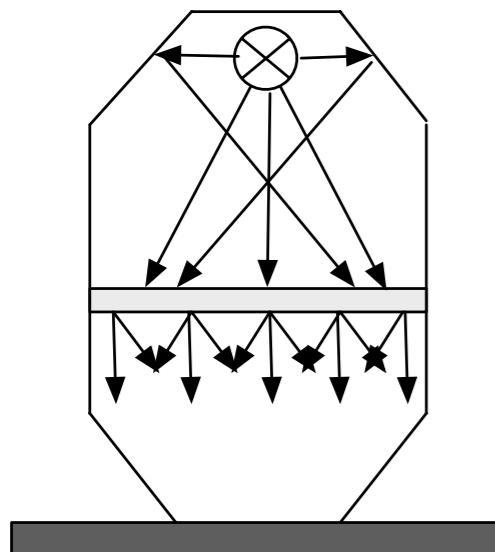
Systemy obrazové analýzy



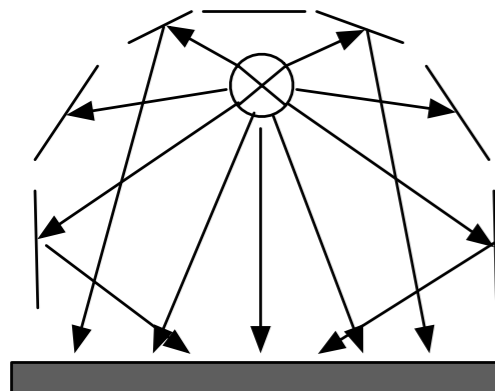
Ukázka vybraných geometrií



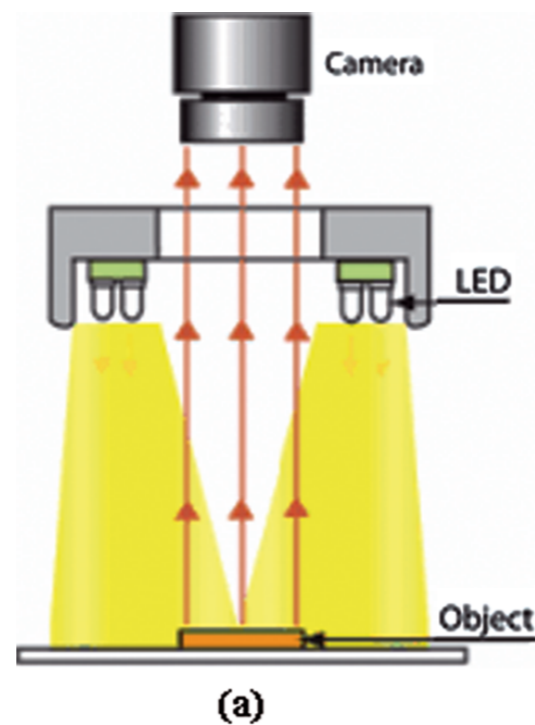
A)



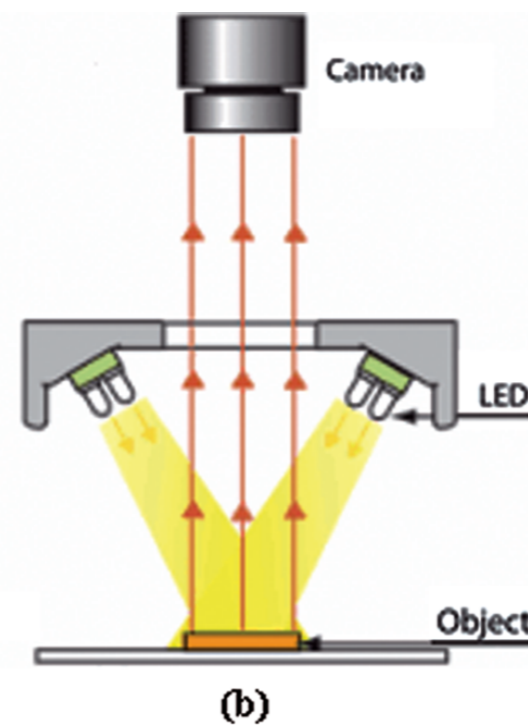
B)



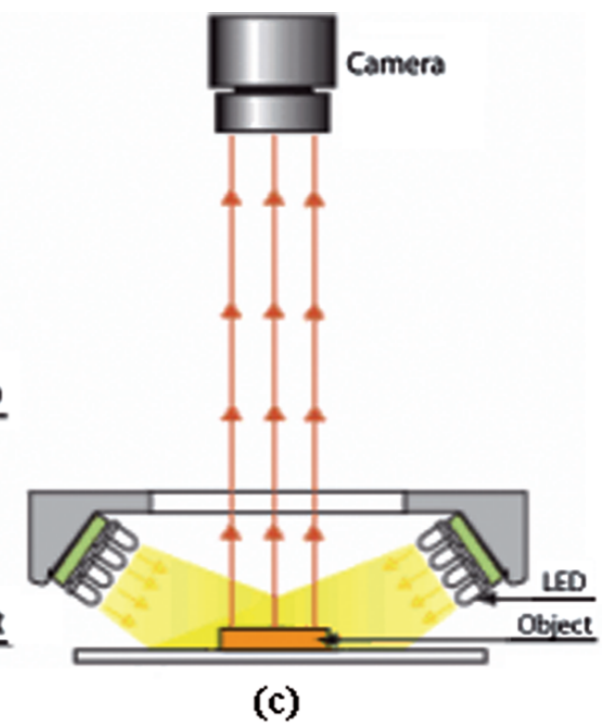
C)



(a)



(b)



(c)

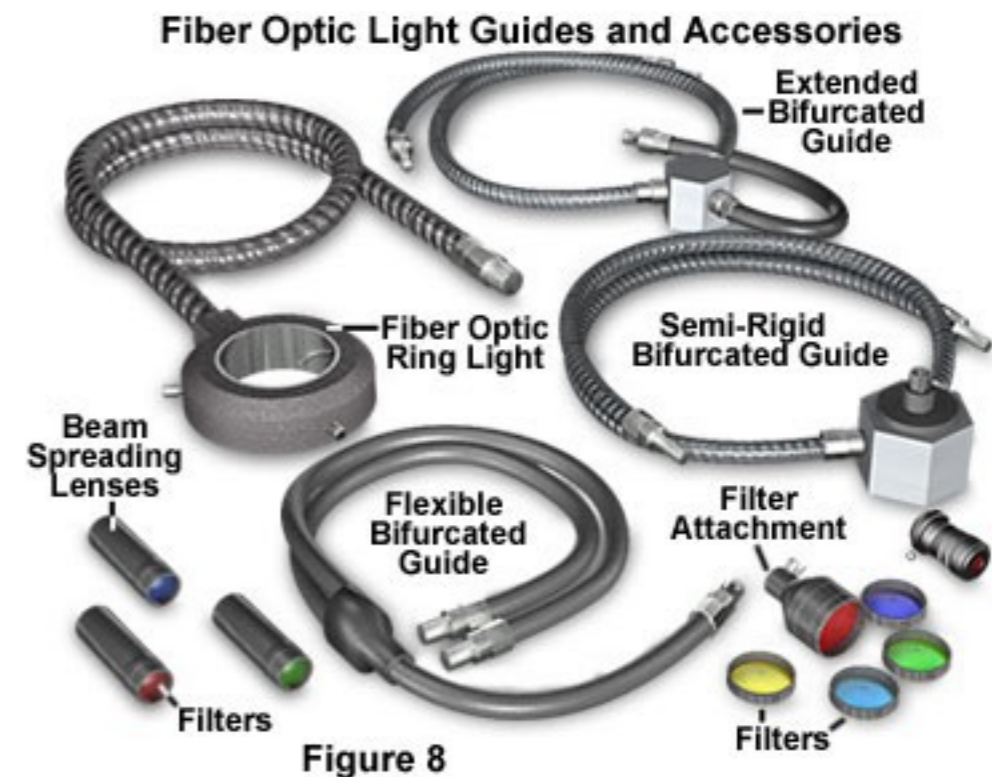
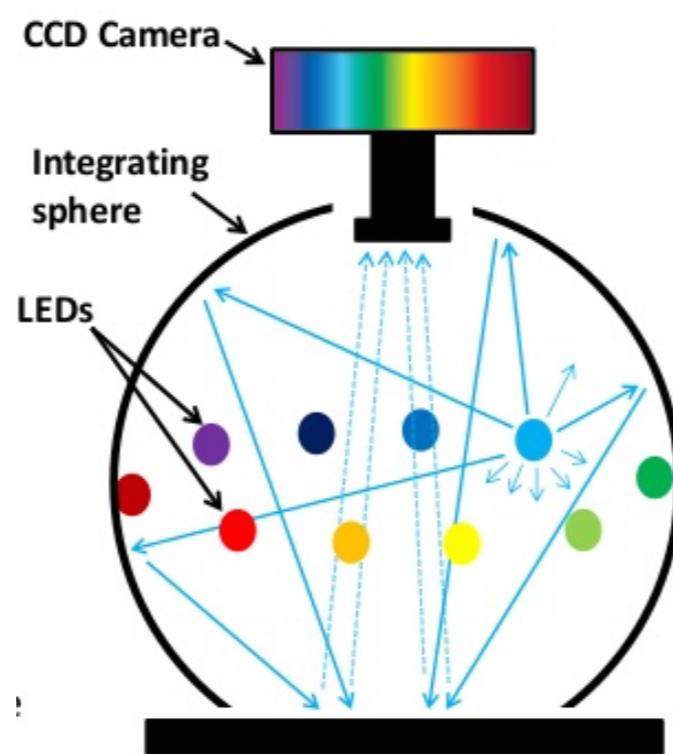
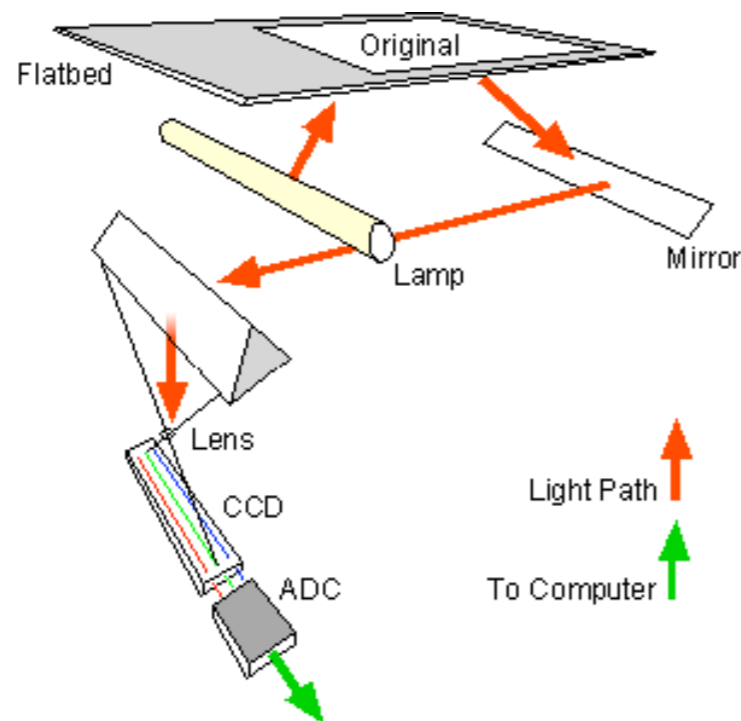


Figure 8

Komerční skenery

Skenery - jsou obvykle konstruovány jako lineární snímače



- pokud použijeme profesionální programy pro skening jako VueScan apod. můžeme získat i z běžného skeneru velmi zajímavé informace
- je nutno brát v úvahu rozdíl ve spektrální účinnosti lidského oka a příslušného senzoru

RGB, GREY a NIR obraz



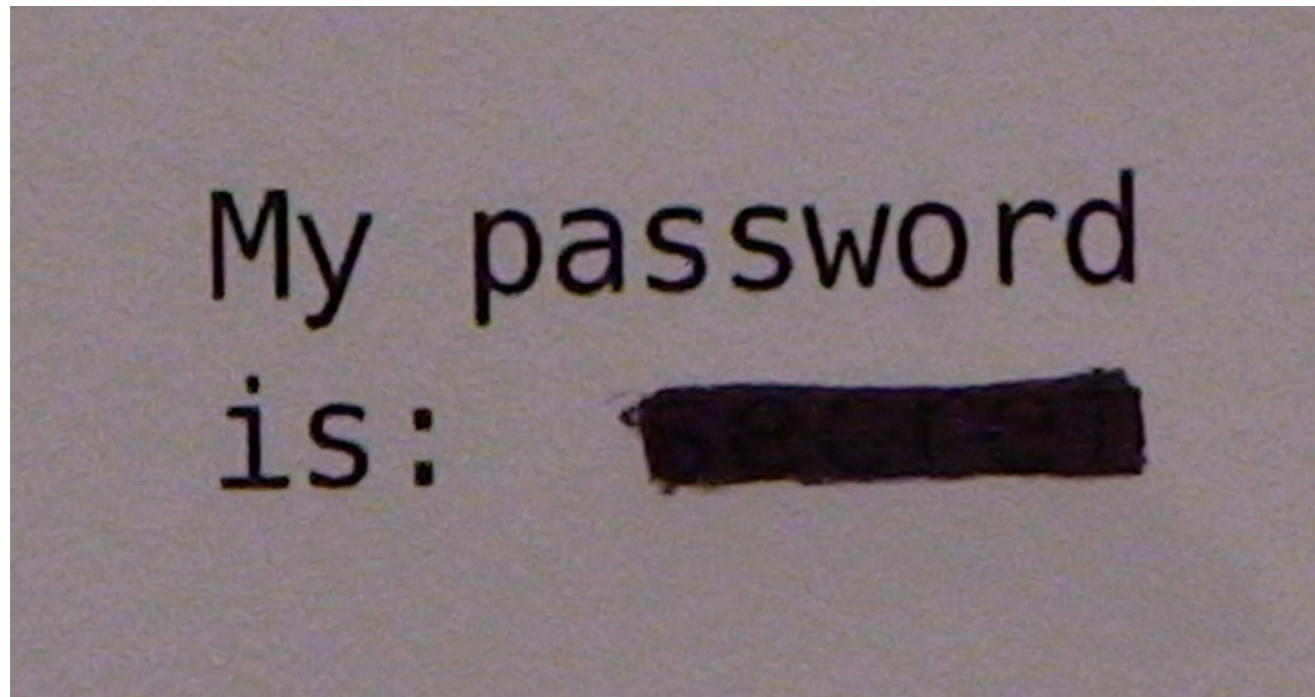
RGB 48B

GREY 16B

NIR 16B



RGB a NIR obraz



RGB

My password
is: secret

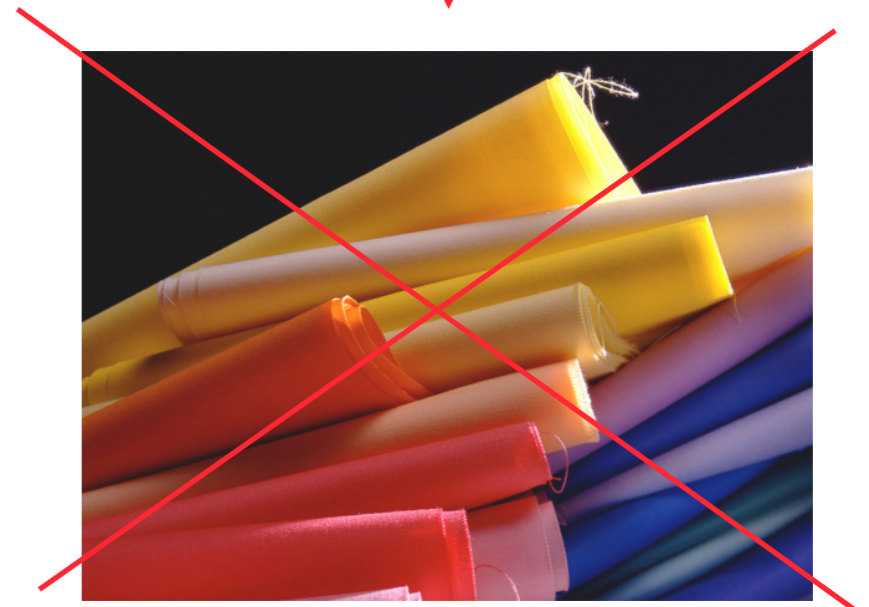
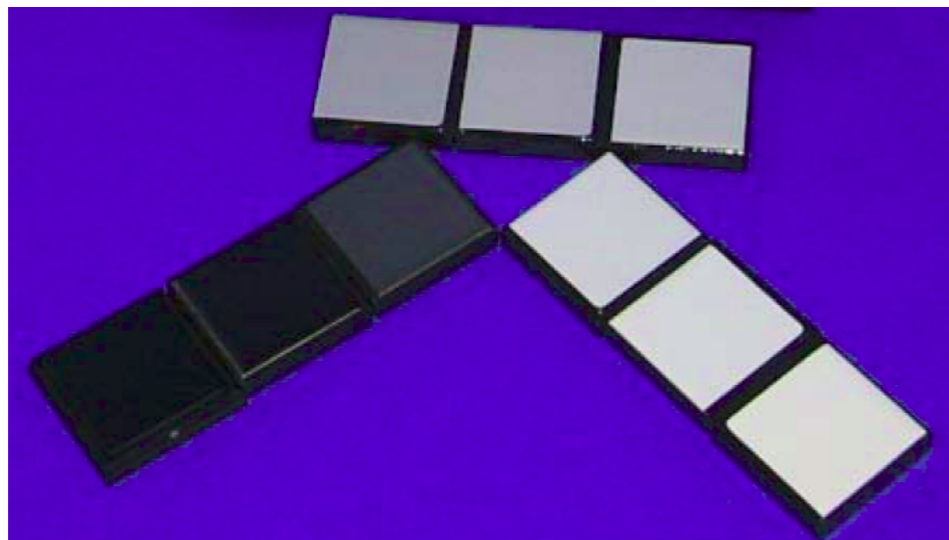
NIR

Materiály

Ideální vzorek pro měření

- Plochý
- Hladký
- Barevně jednotný
- Isotropní
- Neprůsvitný nebo průhledný

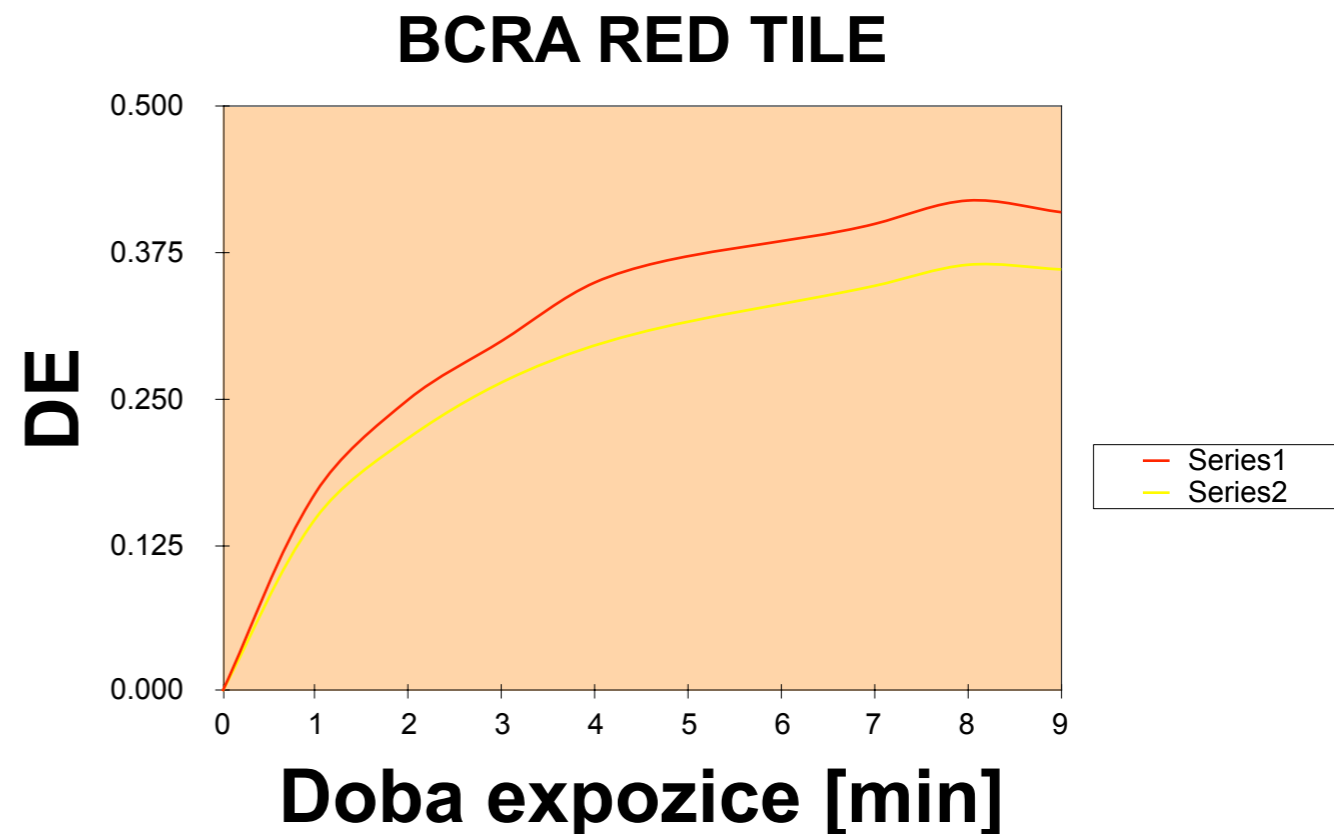
*Většina vzorků
taková není!!!*



Termochromism

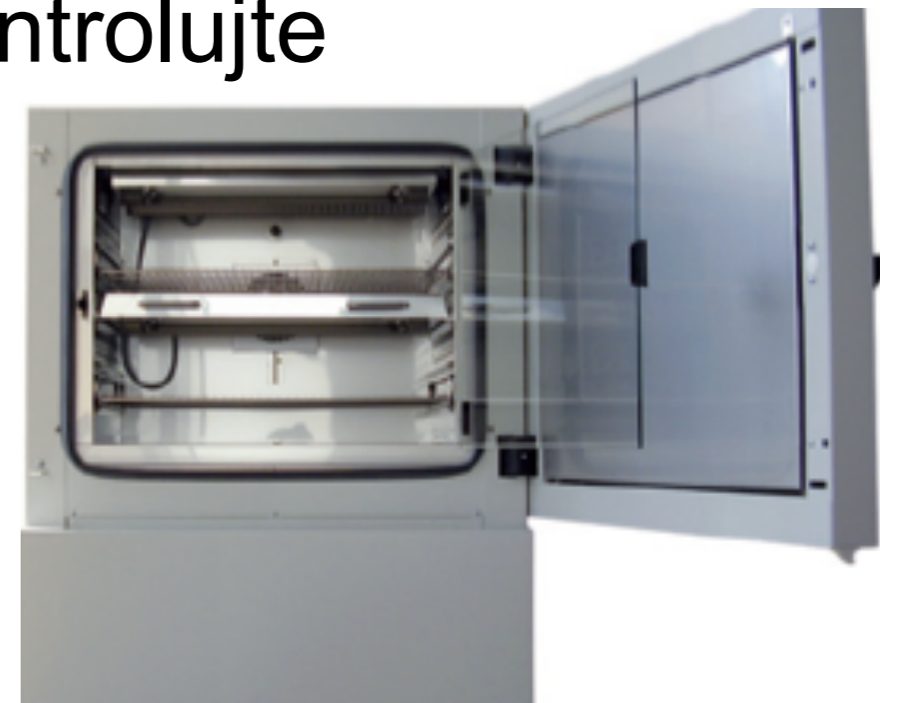
| MIN | dE CIE | DE CMC |
|-------------|---------------|---------------|
| 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.00 | 0.11 | 0.15 |
| 2.00 | 0.24 | 0.22 |
| 3.00 | 0.38 | 0.26 |
| 4.00 | 0.61 | 0.30 |
| 5.00 | 0.74 | 0.32 |
| 6.00 | 0.88 | 0.33 |
| 7.00 | 0.95 | 0.35 |
| 8.00 | 1.01 | 0.37 |
| 9.00 | 1.03 | 0.36 |

$\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$

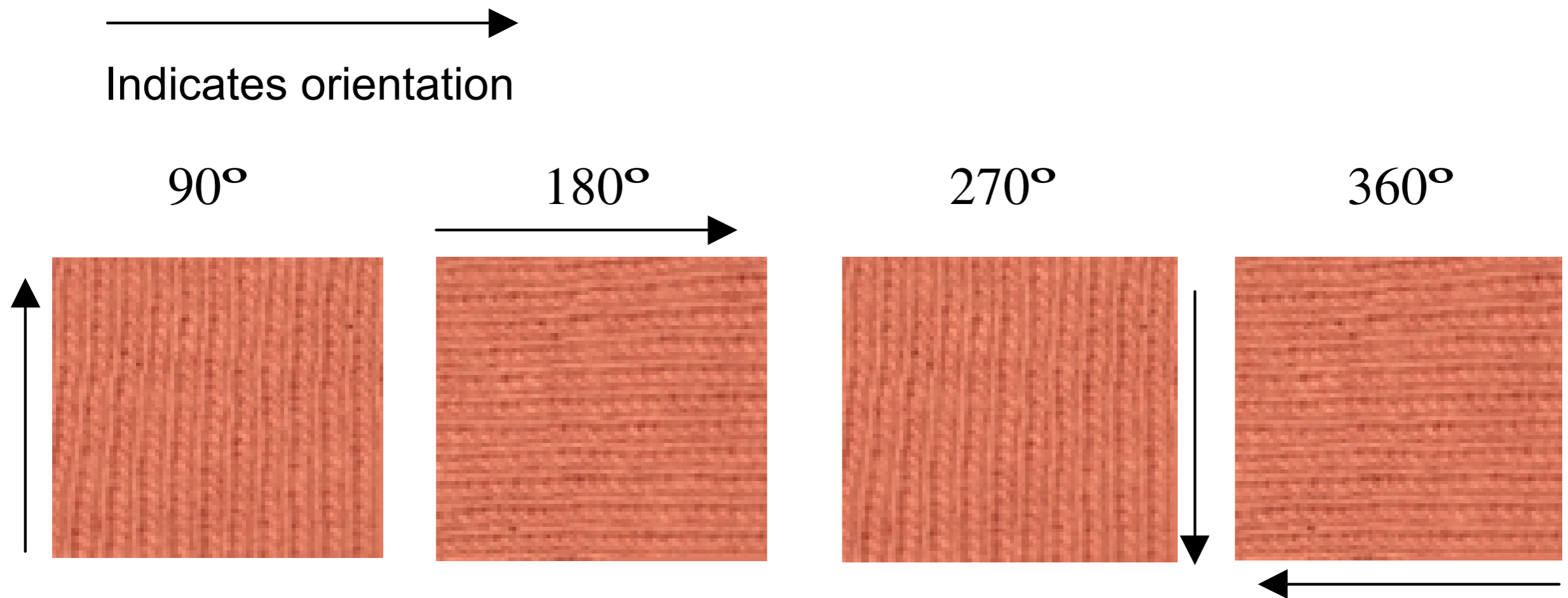


Příprava vzorku a měření

- Vyberte reprezentativní vzorek z měřeného materiálu.
- Připravte vzorek pro měření tak, aby se svým charakterem co nejvíce blížil ideálnímu vzorku.
- Vždy dodržujte postup přípravy a odběru vzorku.
- Umístěte vzorek na měřicí otvor přístroje tak, aby měřená plocha charakterizovala měřený vzorek.
- Provádějte vícenásobné měření a kontrolujte odchylky naměřených hodnot.
- Klimatizujte měřené vzorky
(například dle BS EN ISO 139:2005)



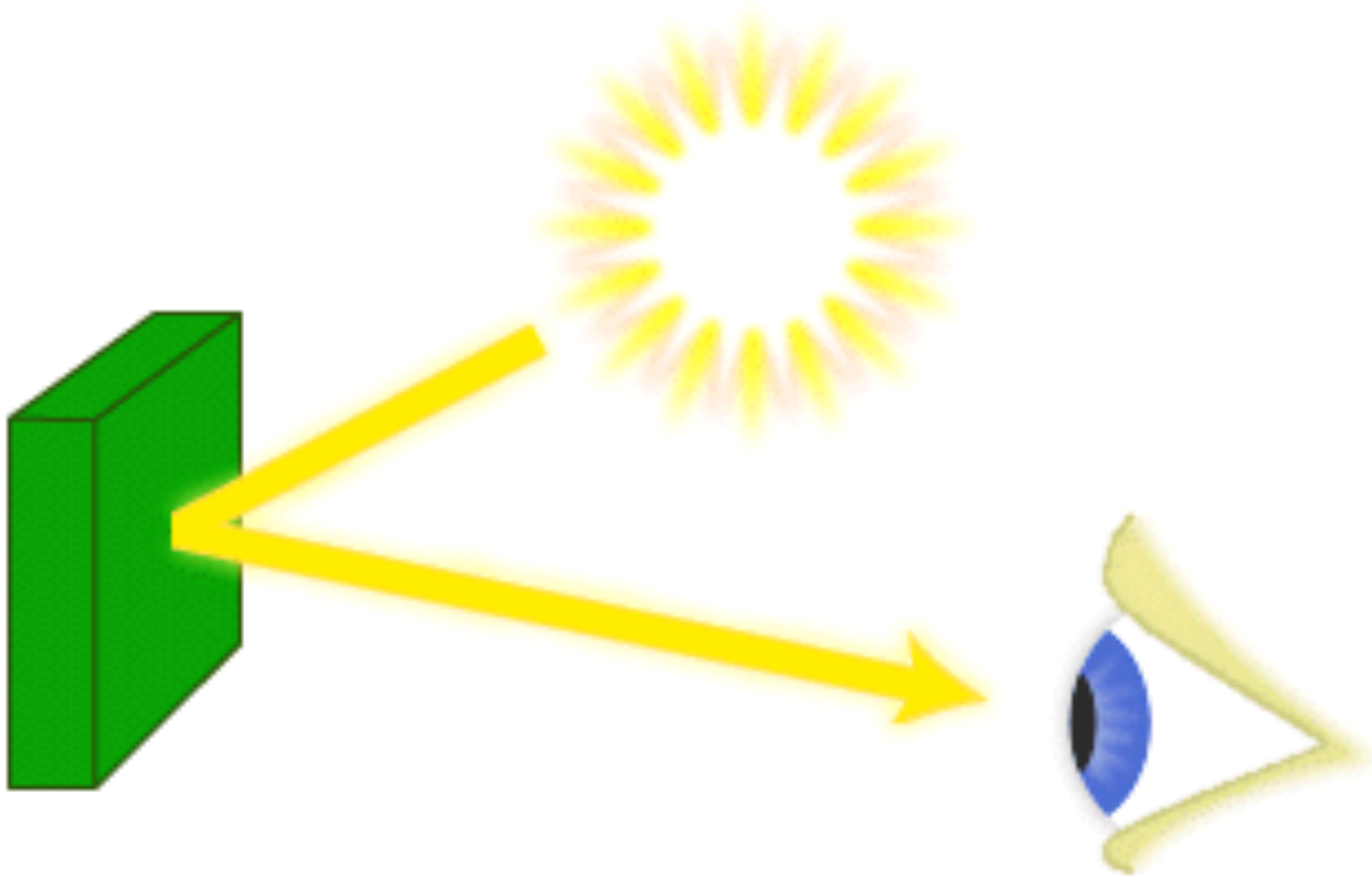
Typický postup měření textilií



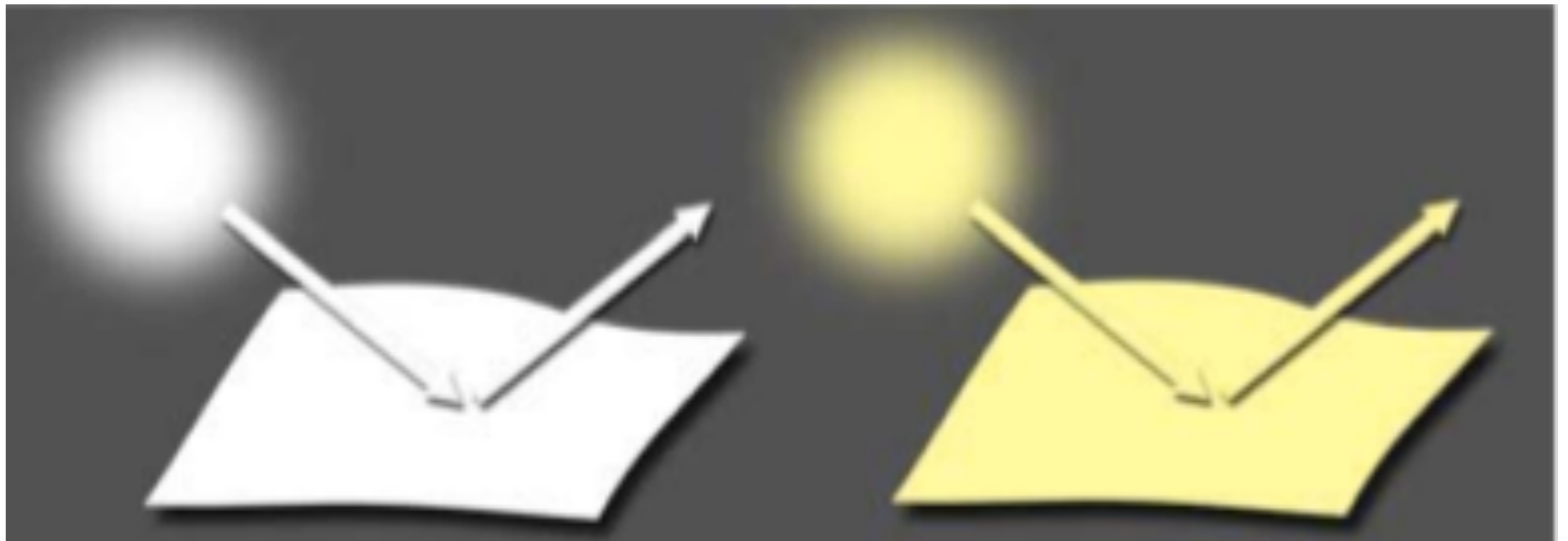
Osvětlení



Vizuální triplet



Vliv spektrální charakteristiky osvětlení I

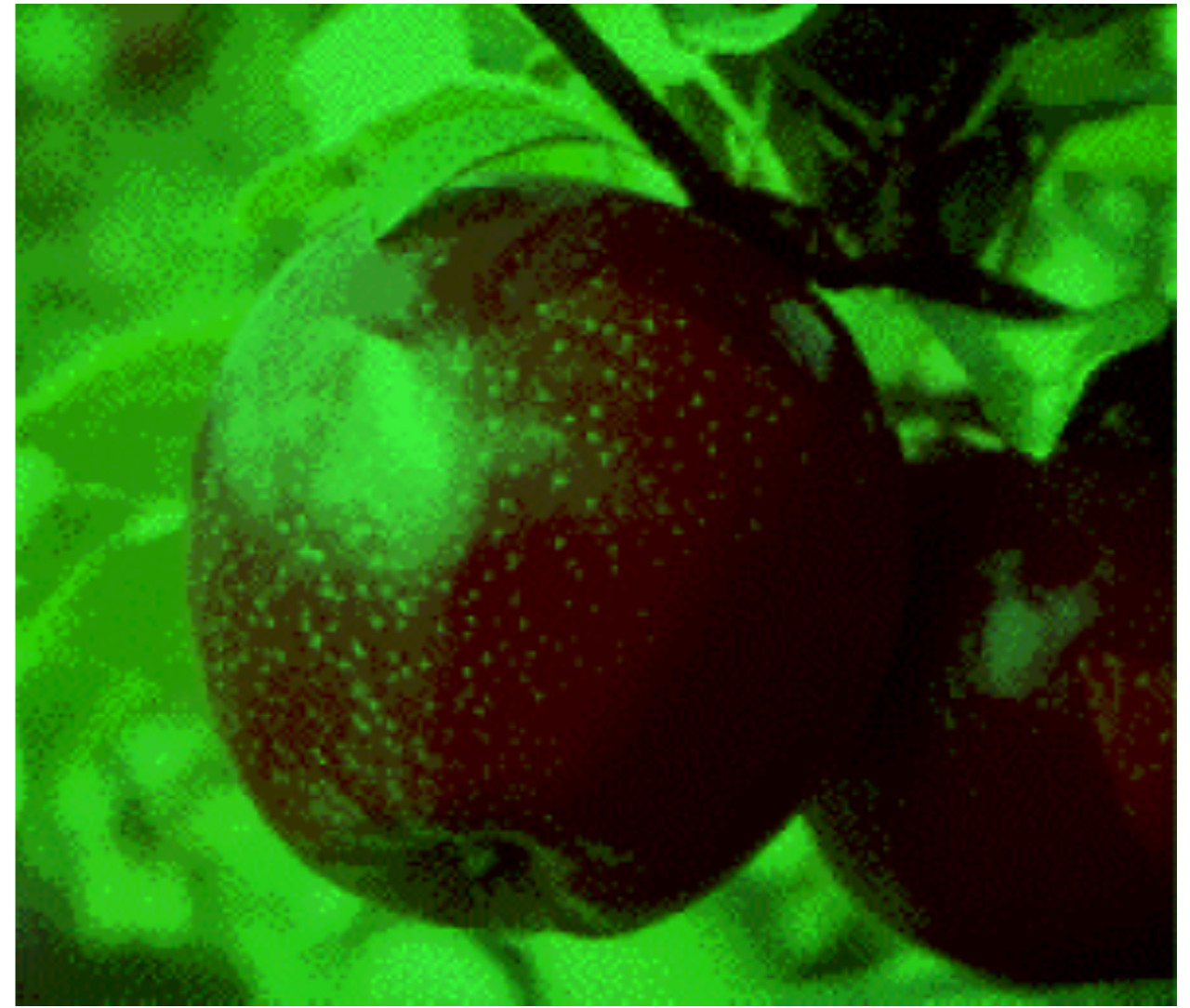


Bílý papír není bílý. Přejímá barvu světla, které na něj svítí

Vliv spektrální charakteristiky osvětlení II



Bílé denní světlo

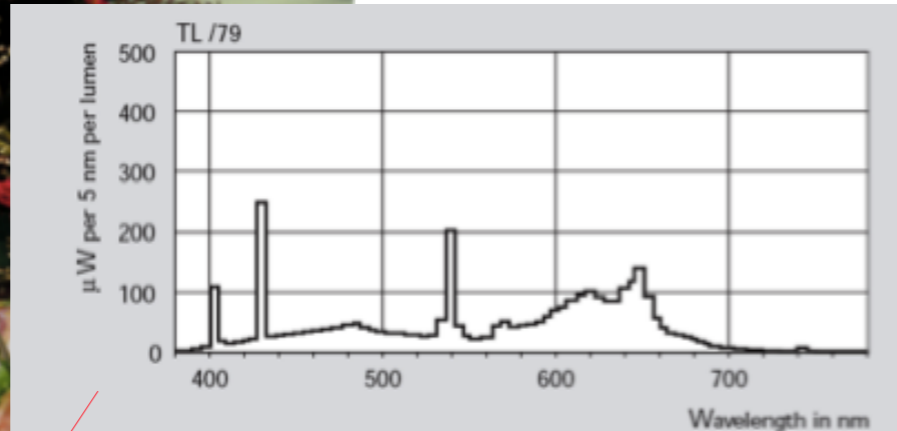
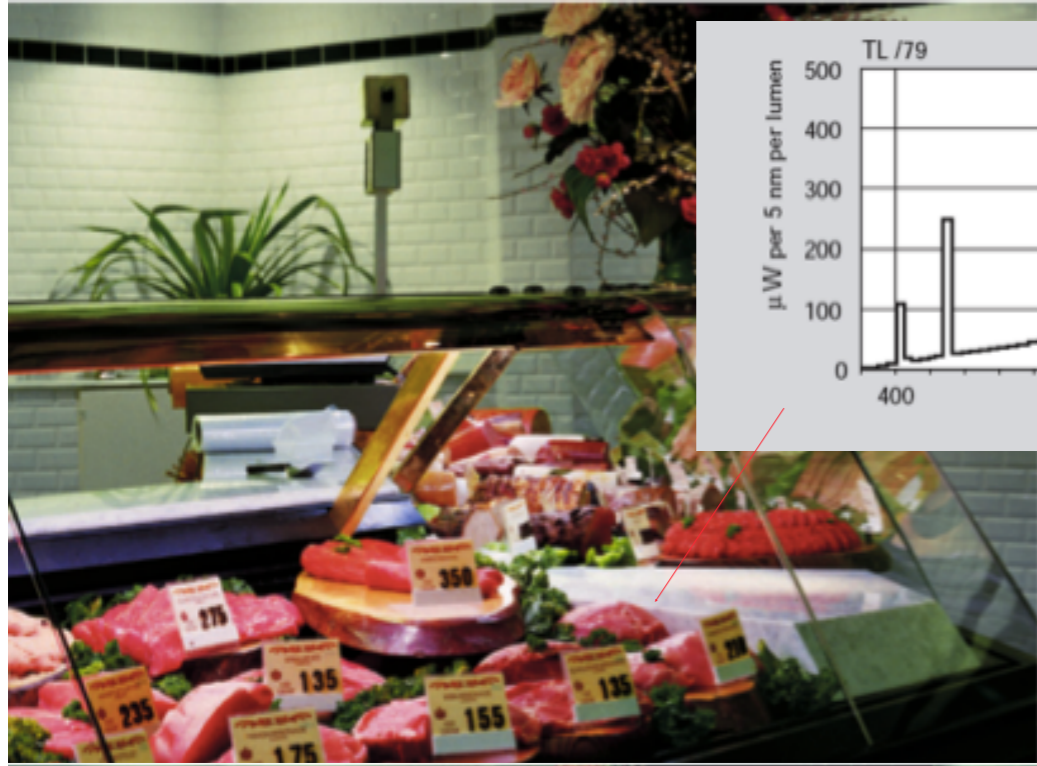


Zelené světlo

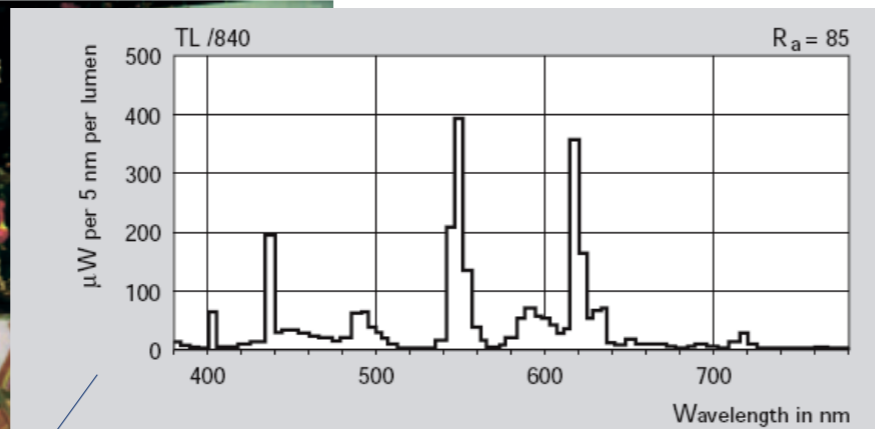
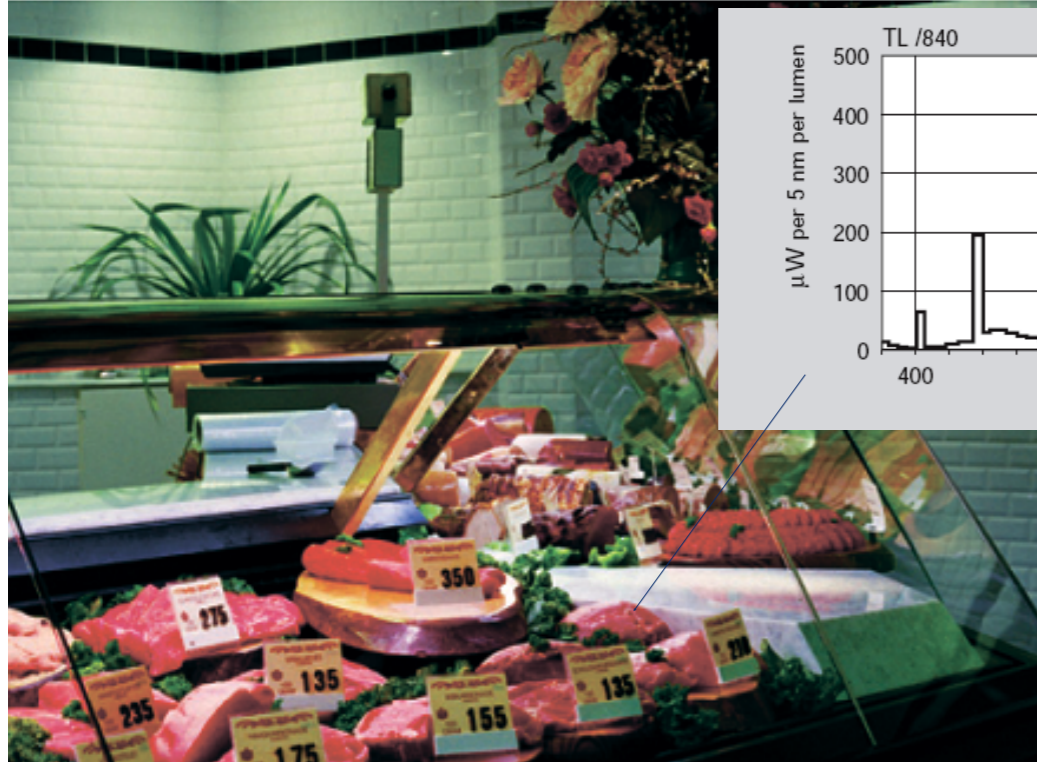
Vliv spektrální charakteristiky osvětlení III



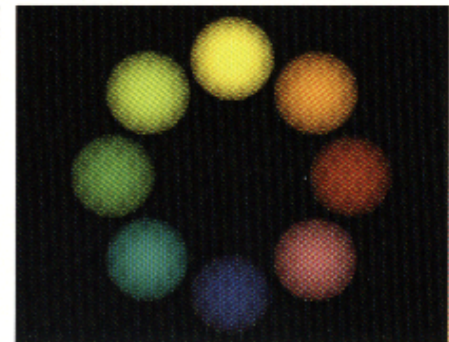
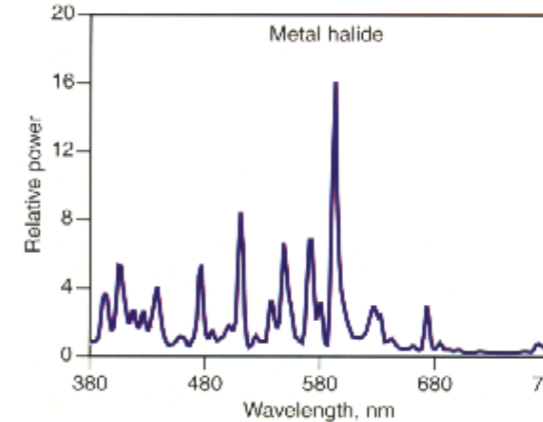
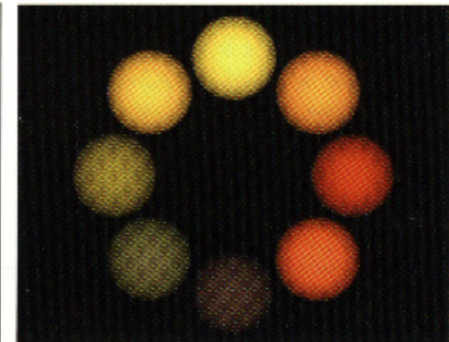
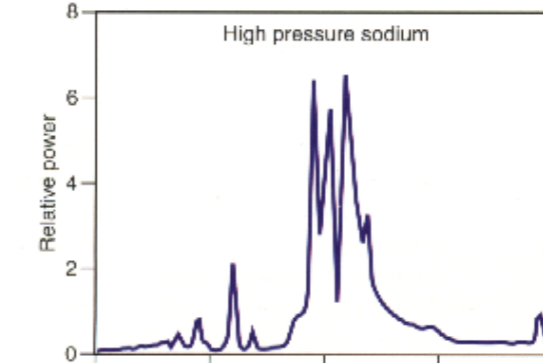
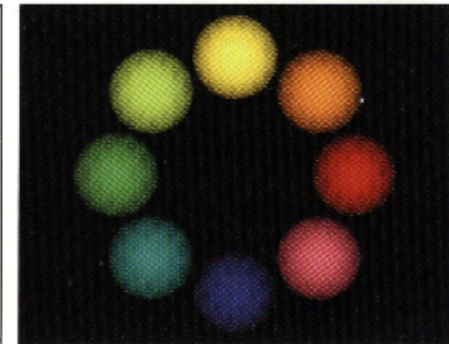
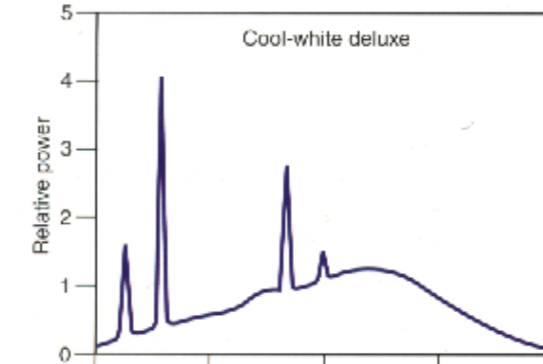
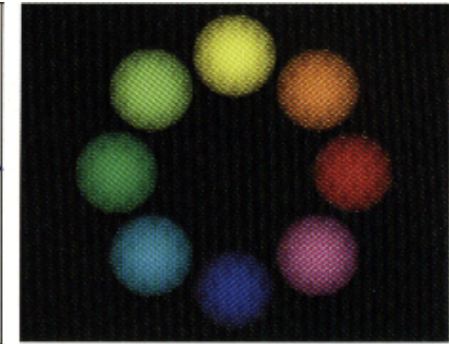
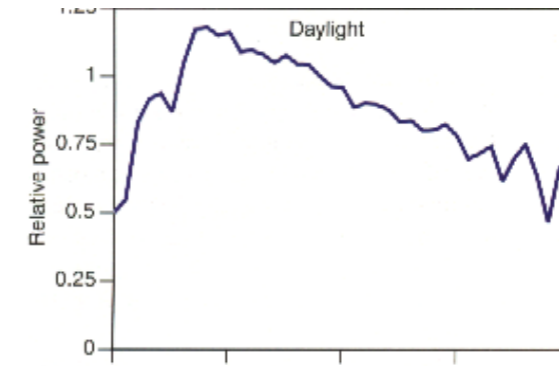
Vliv spektrální charakteristiky osvětlení IV



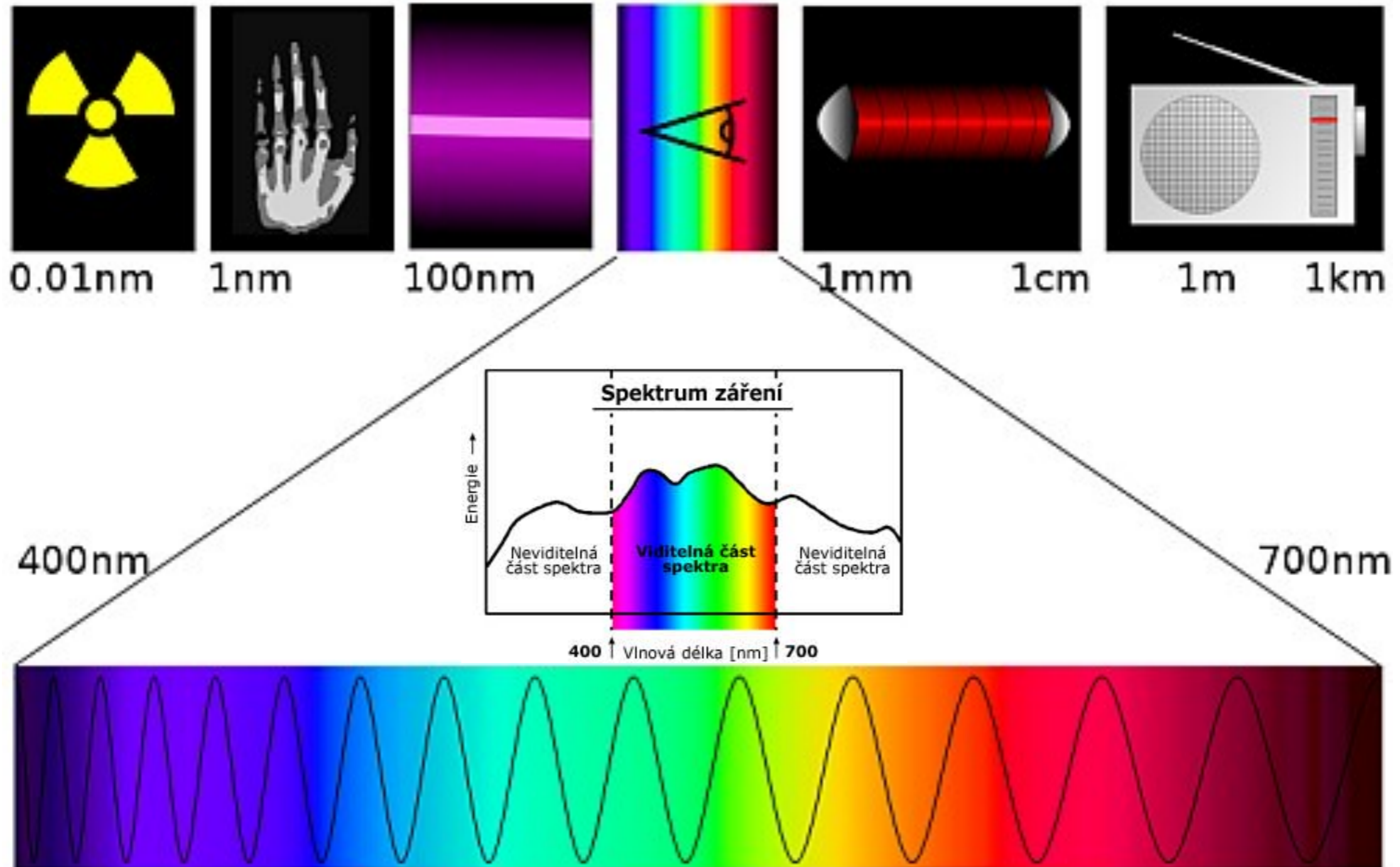
TCP=3800K



TCP=4100K

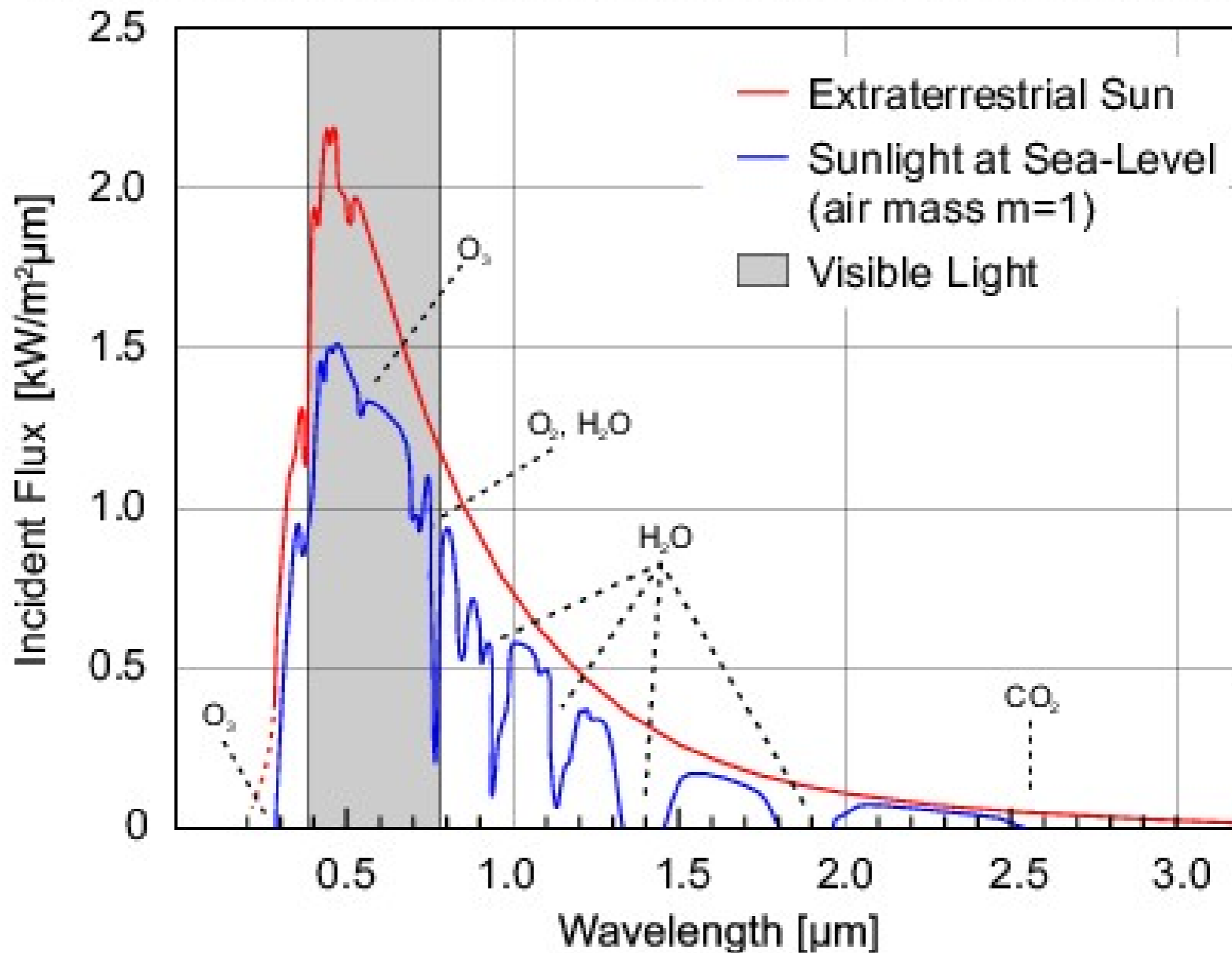


Vizuální část spektra

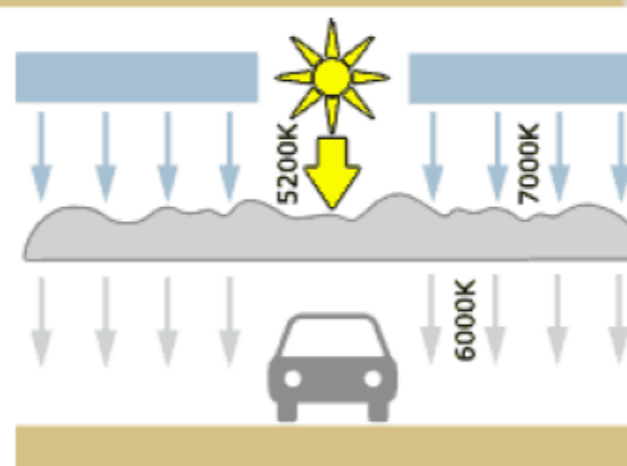
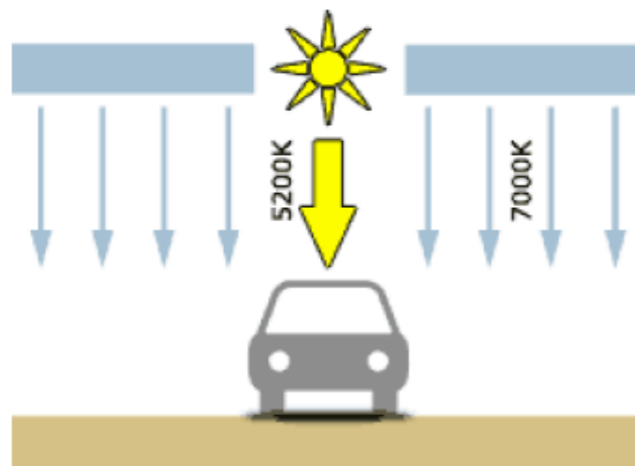
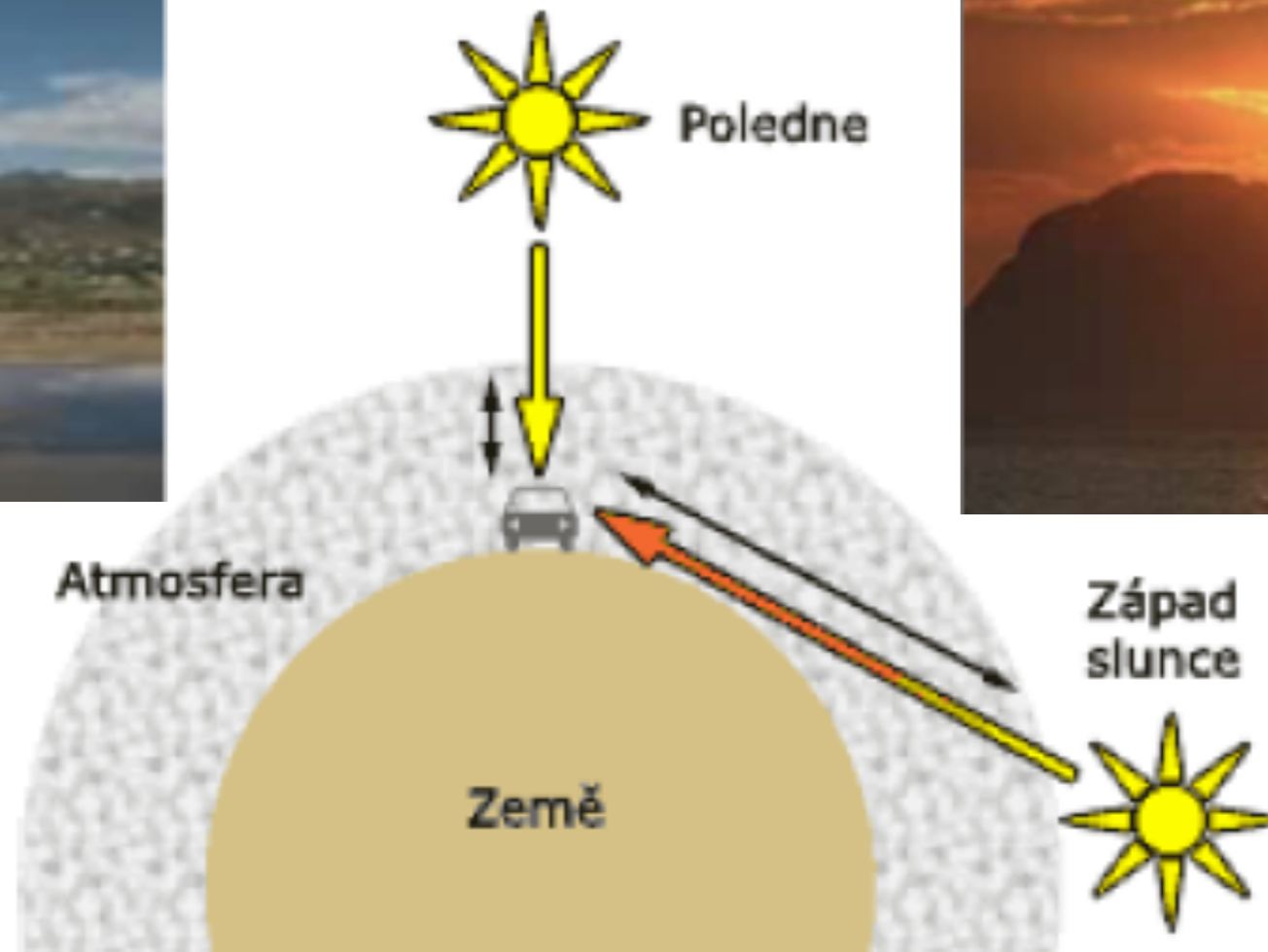


Sluneční svit

Spectral Distribution of Sunlight and Molecular Absorption

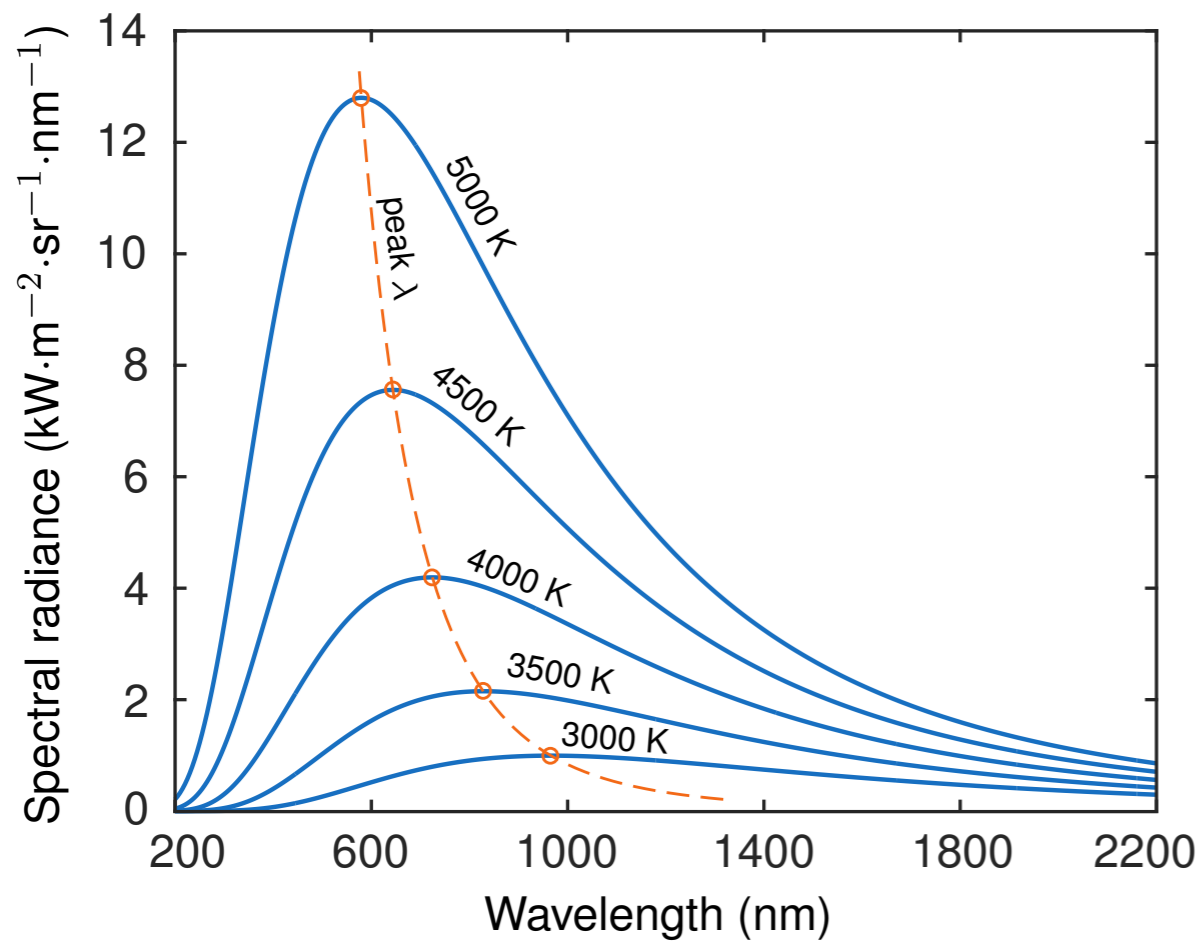


Denní světlo

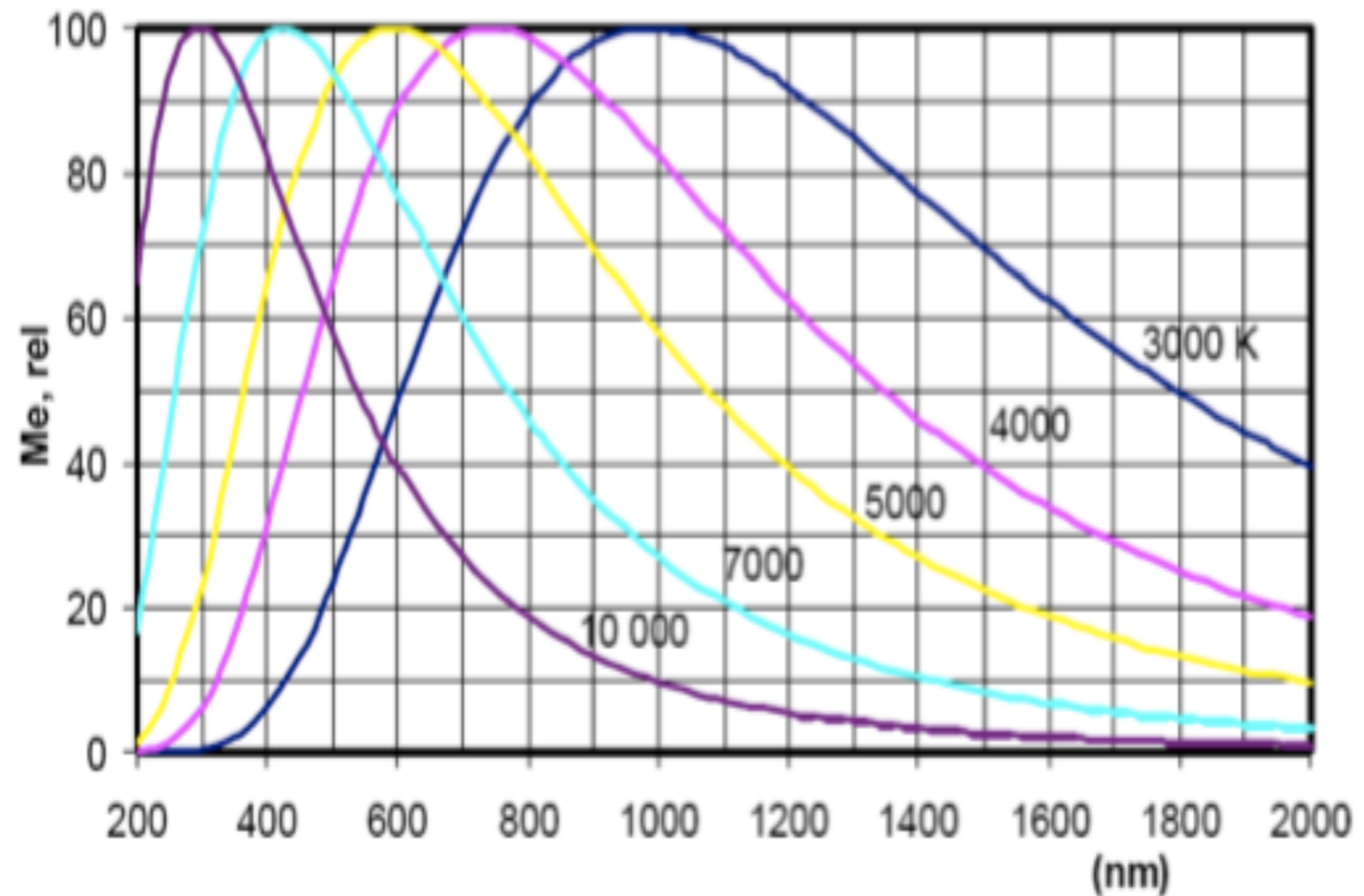


Planckův zákon

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/k\lambda T} - 1} = f(T, \lambda)$$

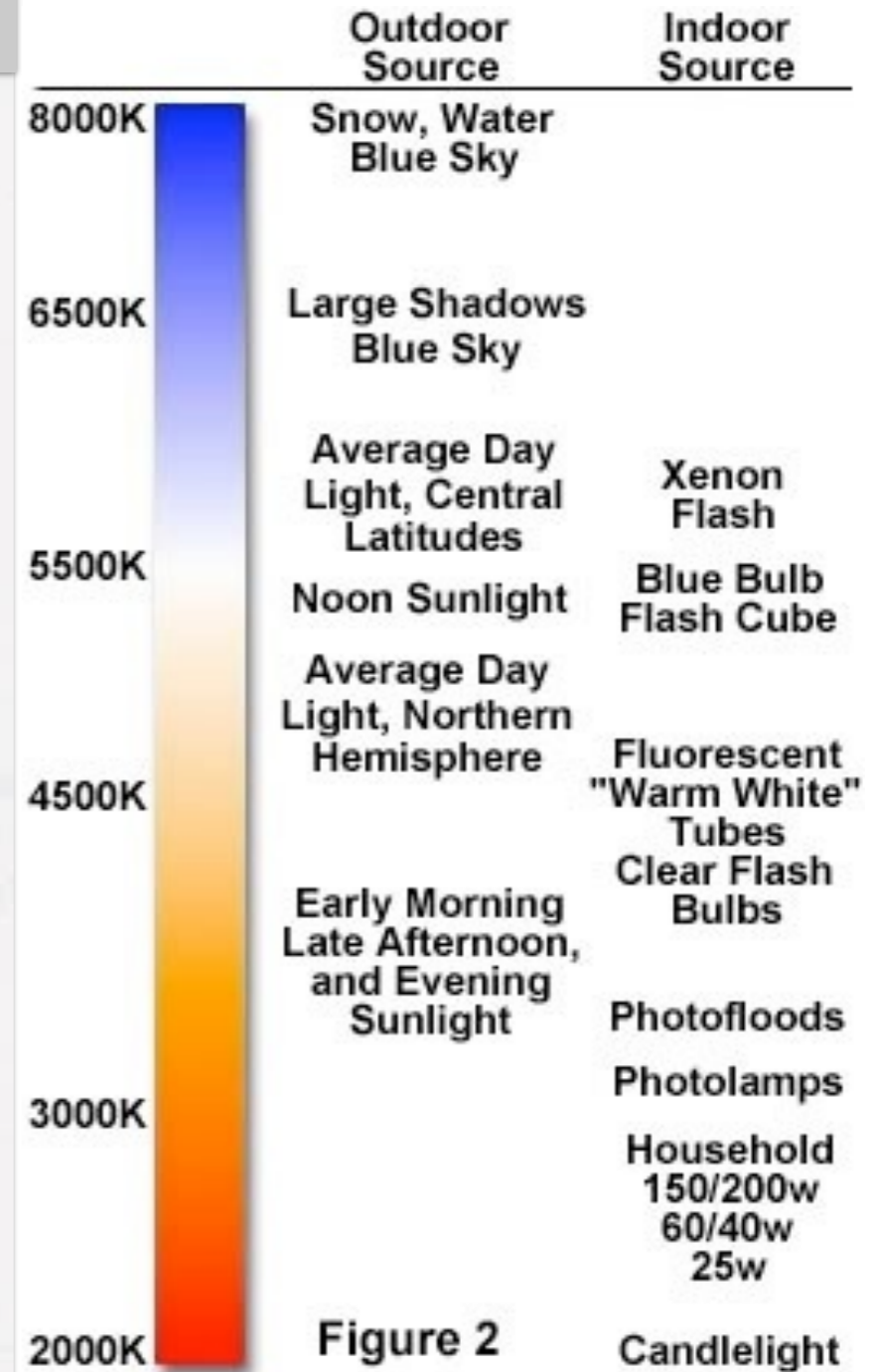
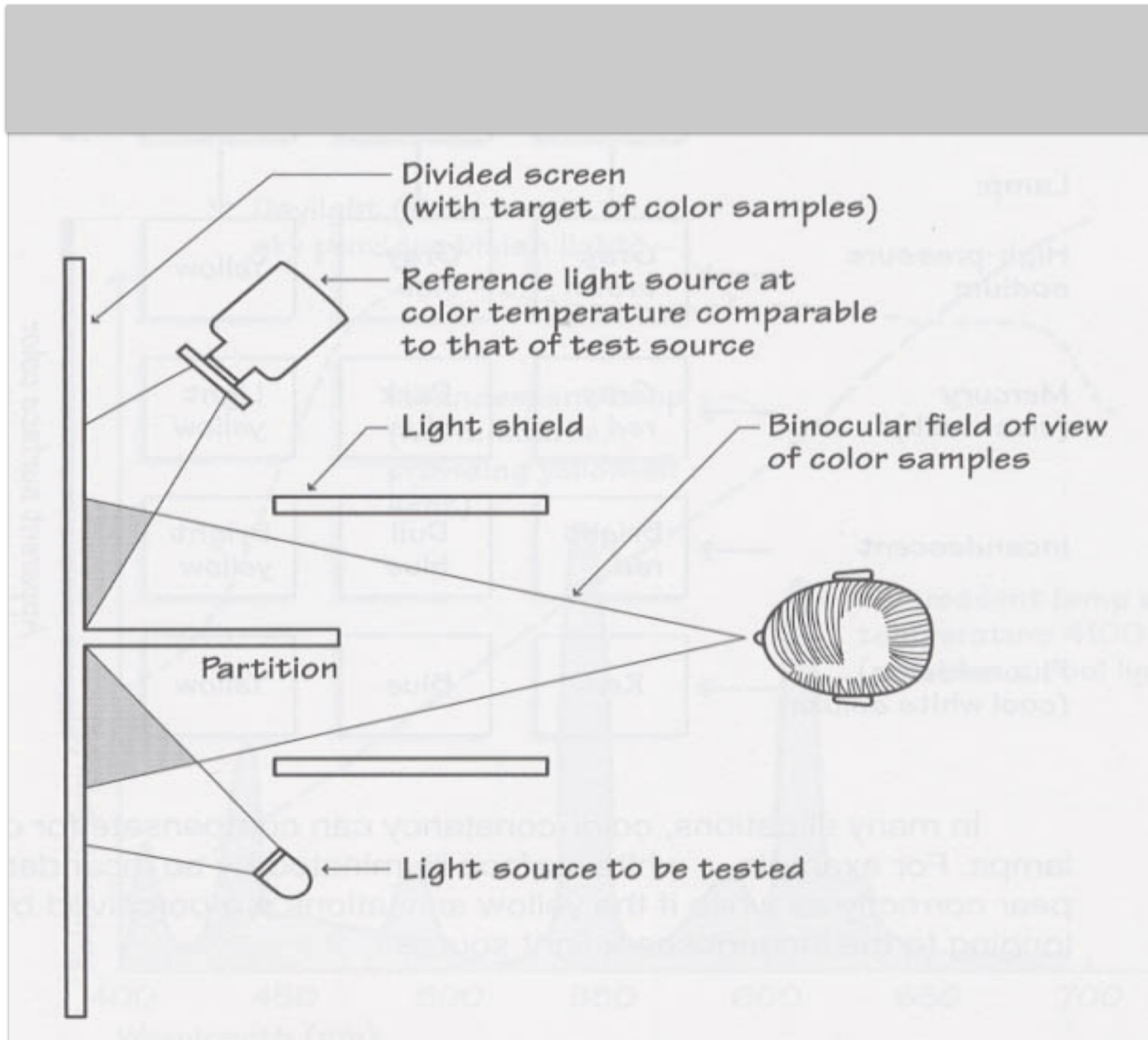


Absolutní spektrální složení



Poměrné spektrální složení

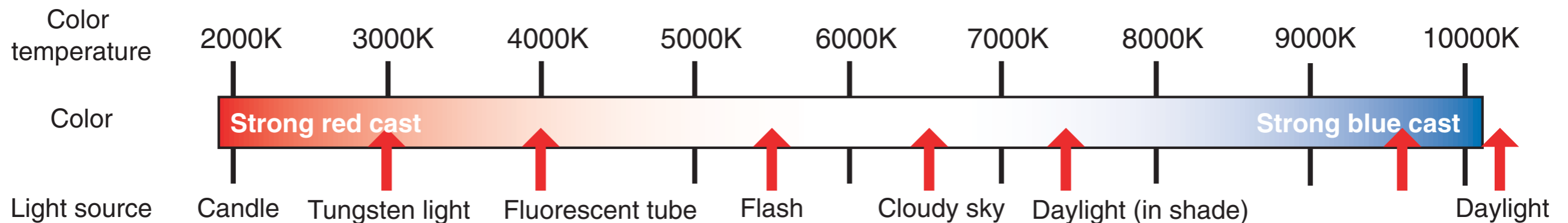
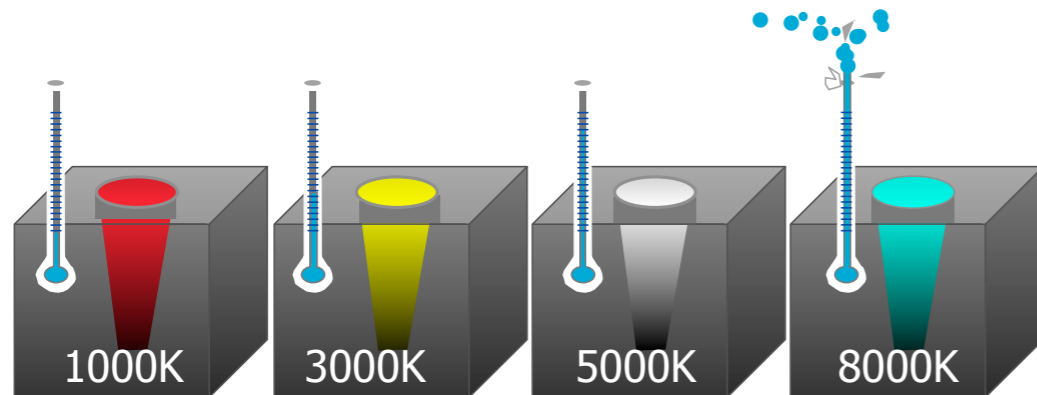
Teplota chromatičnosti I



Teplota chromatičnosti II

| Correlated colour temperature (CCT) | Colour appearance |
|-------------------------------------|-------------------|
| < 3300K | Warm |
| 3300 - 5300K | Intermediate |
| > 5300K | Cool |

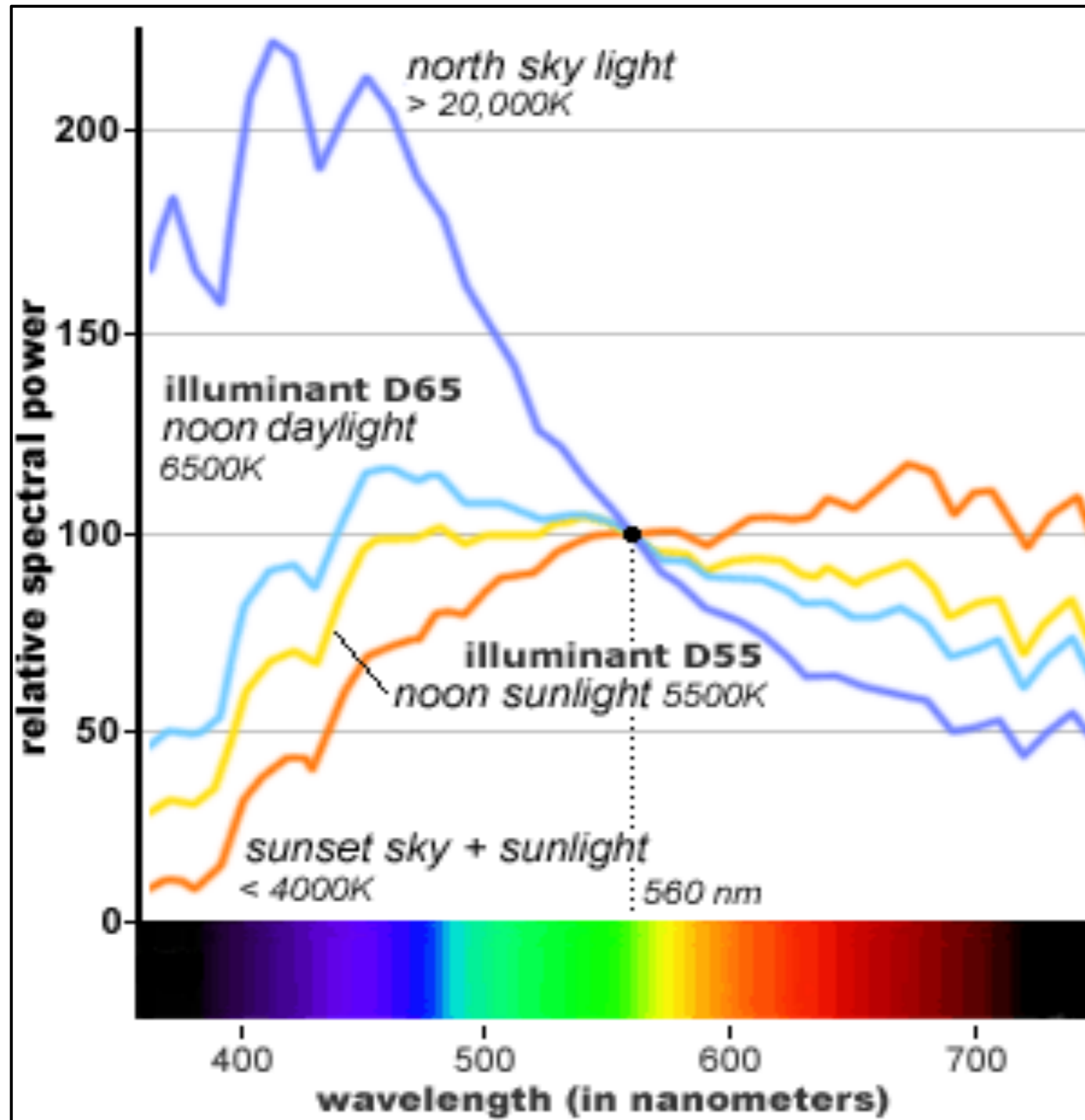
| Light Source | Illuminant | Color Temperature |
|-------------------|------------|-------------------|
| Daylight | D65 | 6500 Kelvin |
| Average Daylight | D50 | 5000 Kelvin |
| Daylight Old std. | C | 6774 Kelvin |
| Incandescent | A | 2856 Kelvin |
| Direct Sun | B | 4874 Kelvin |



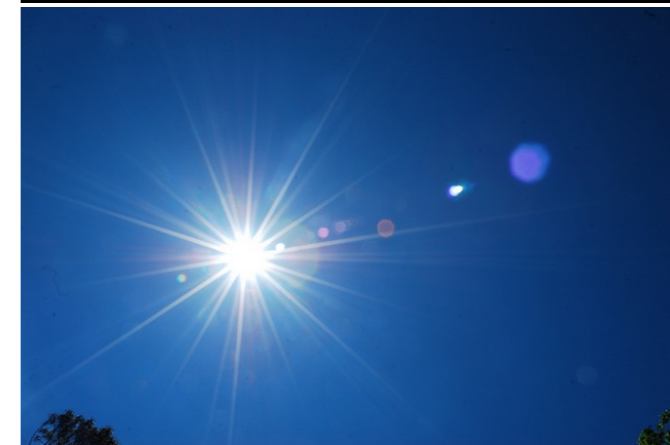
Světelné zdroje



Denní světlo



D65

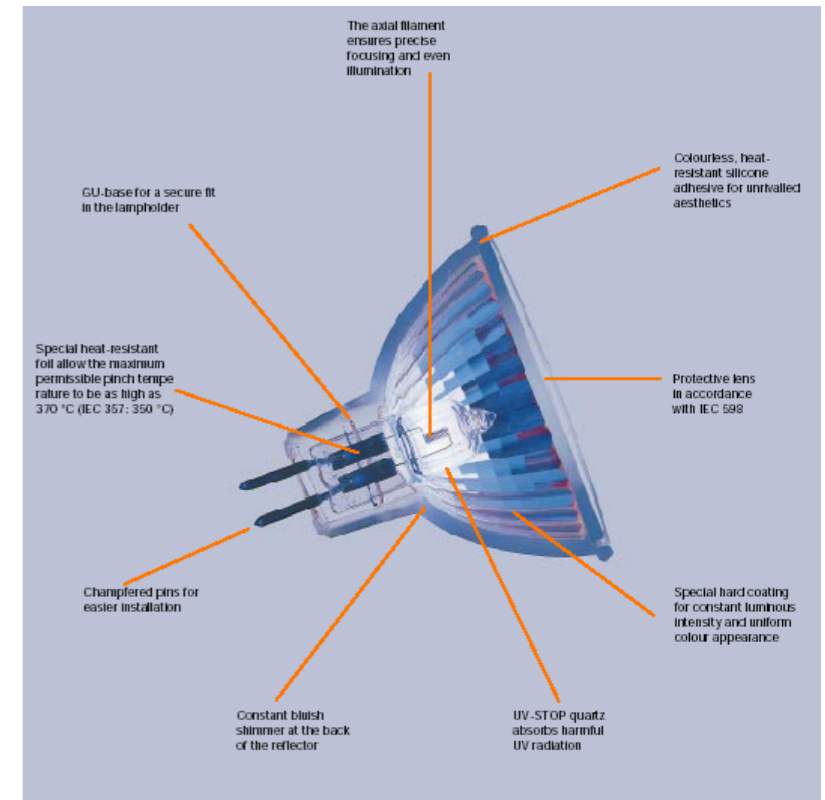


D55

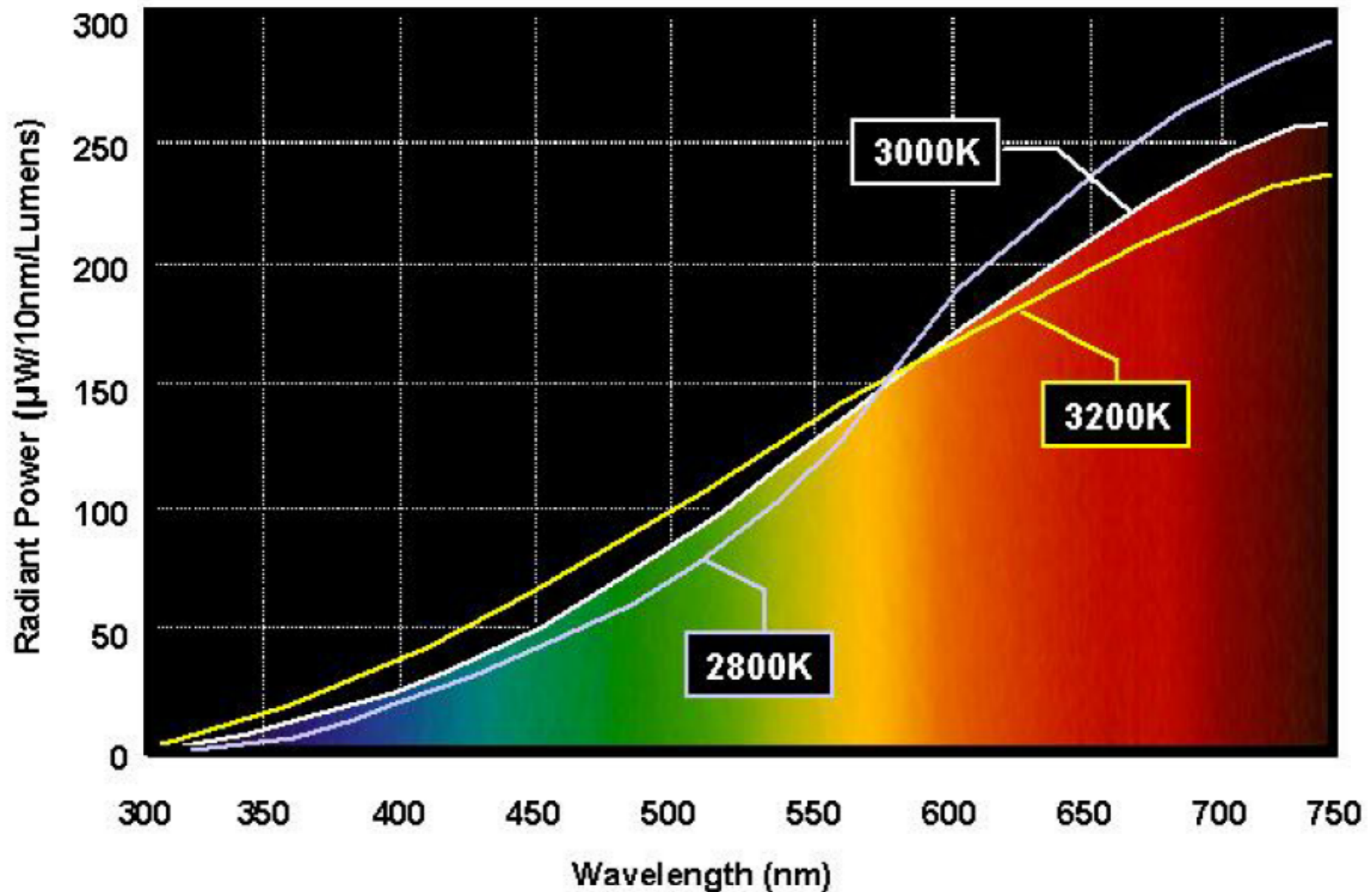


D40

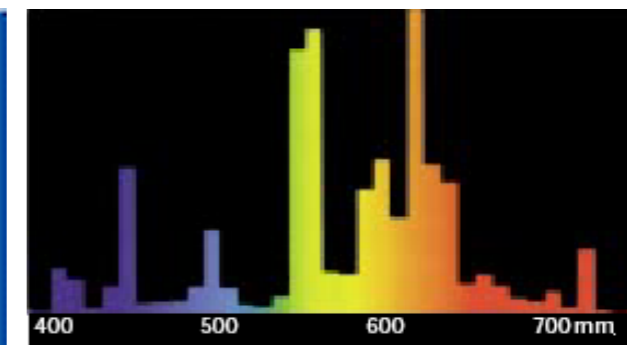
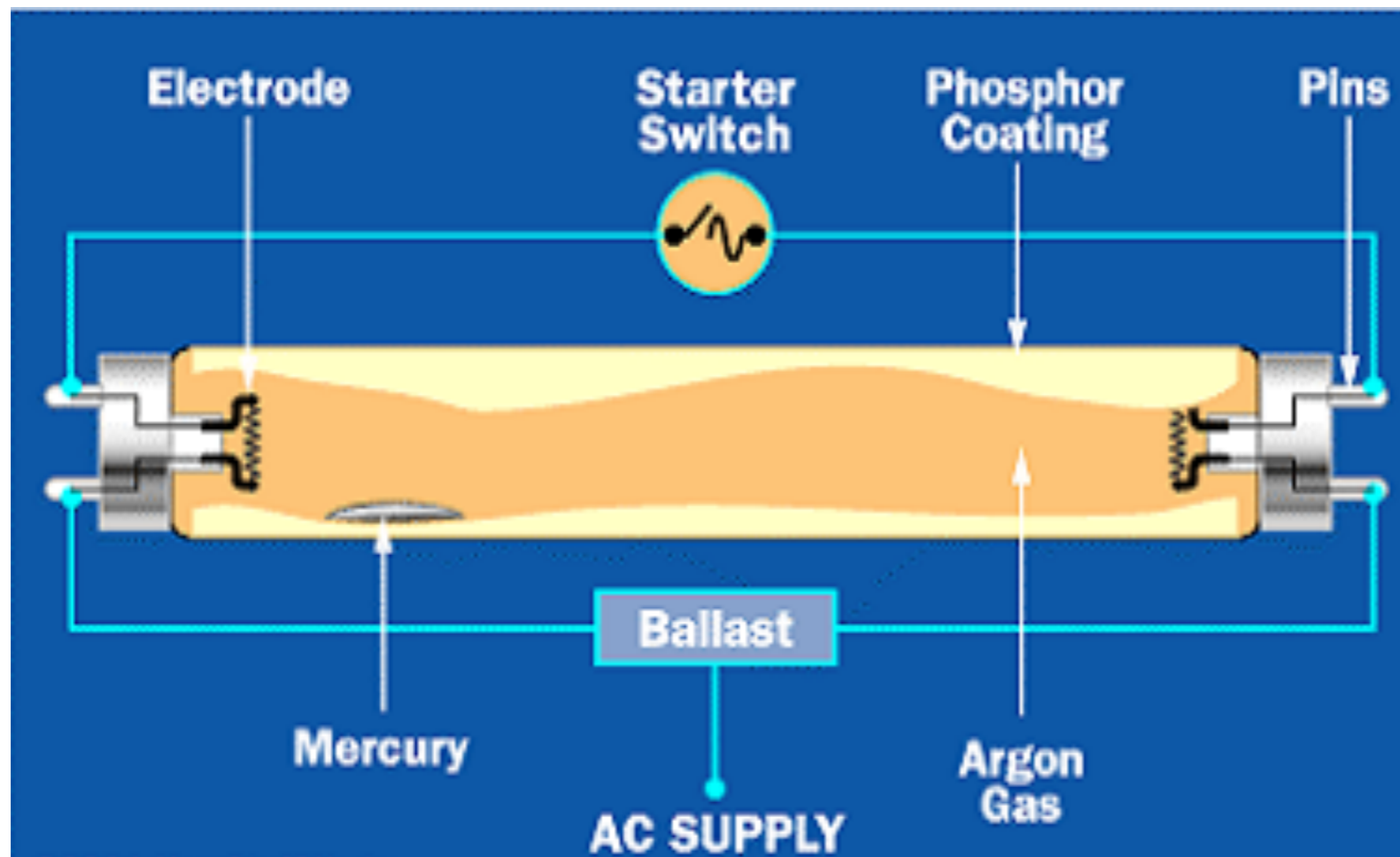
Žárovkové osvětlení I



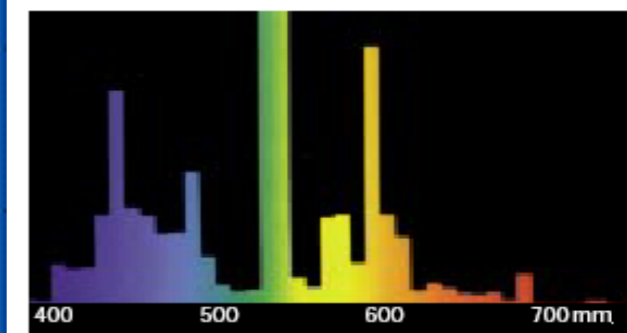
Žárovkové osvětlení II



Zářivky

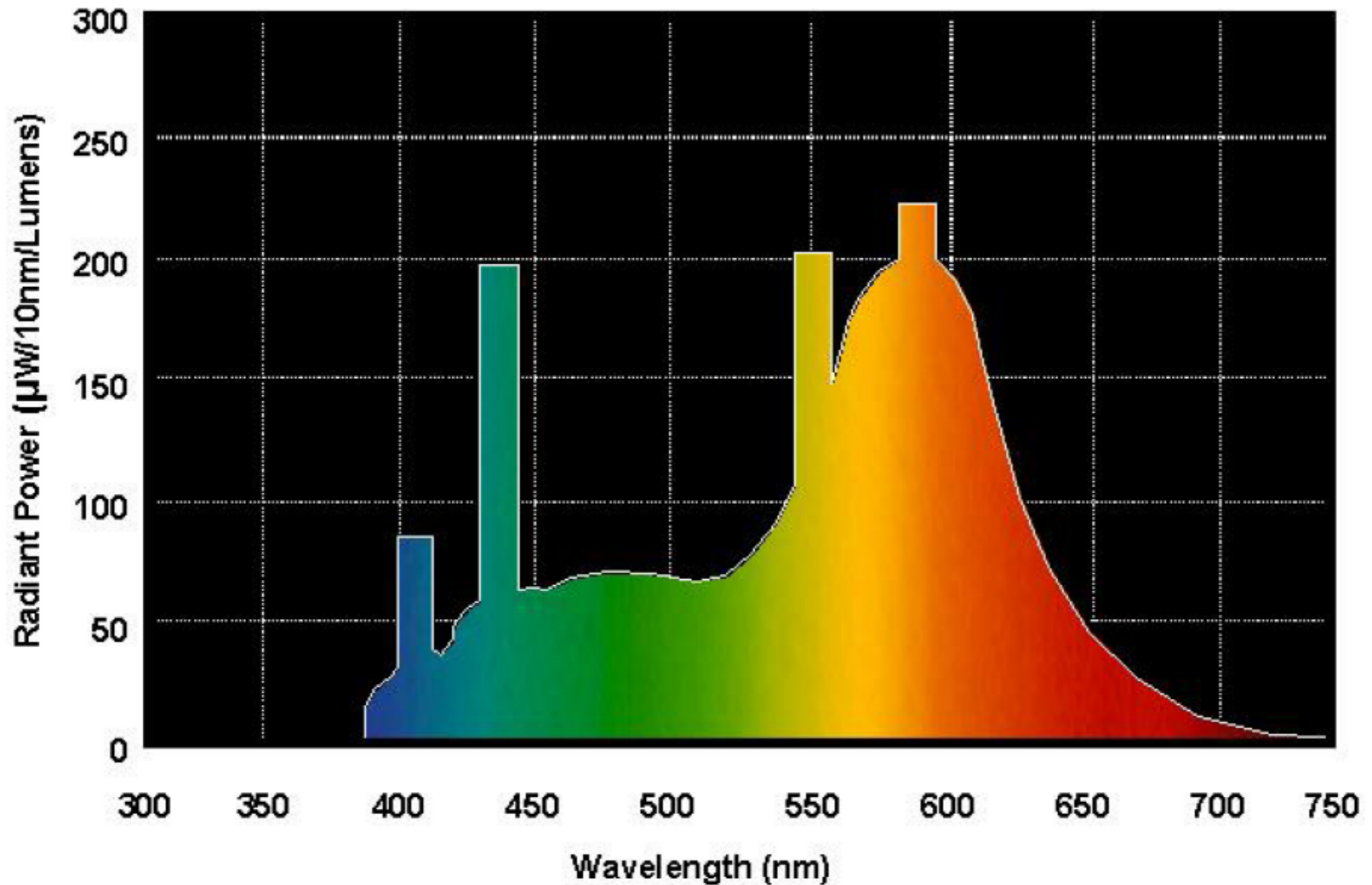


LUMILUX INTERNA®
Colour 827

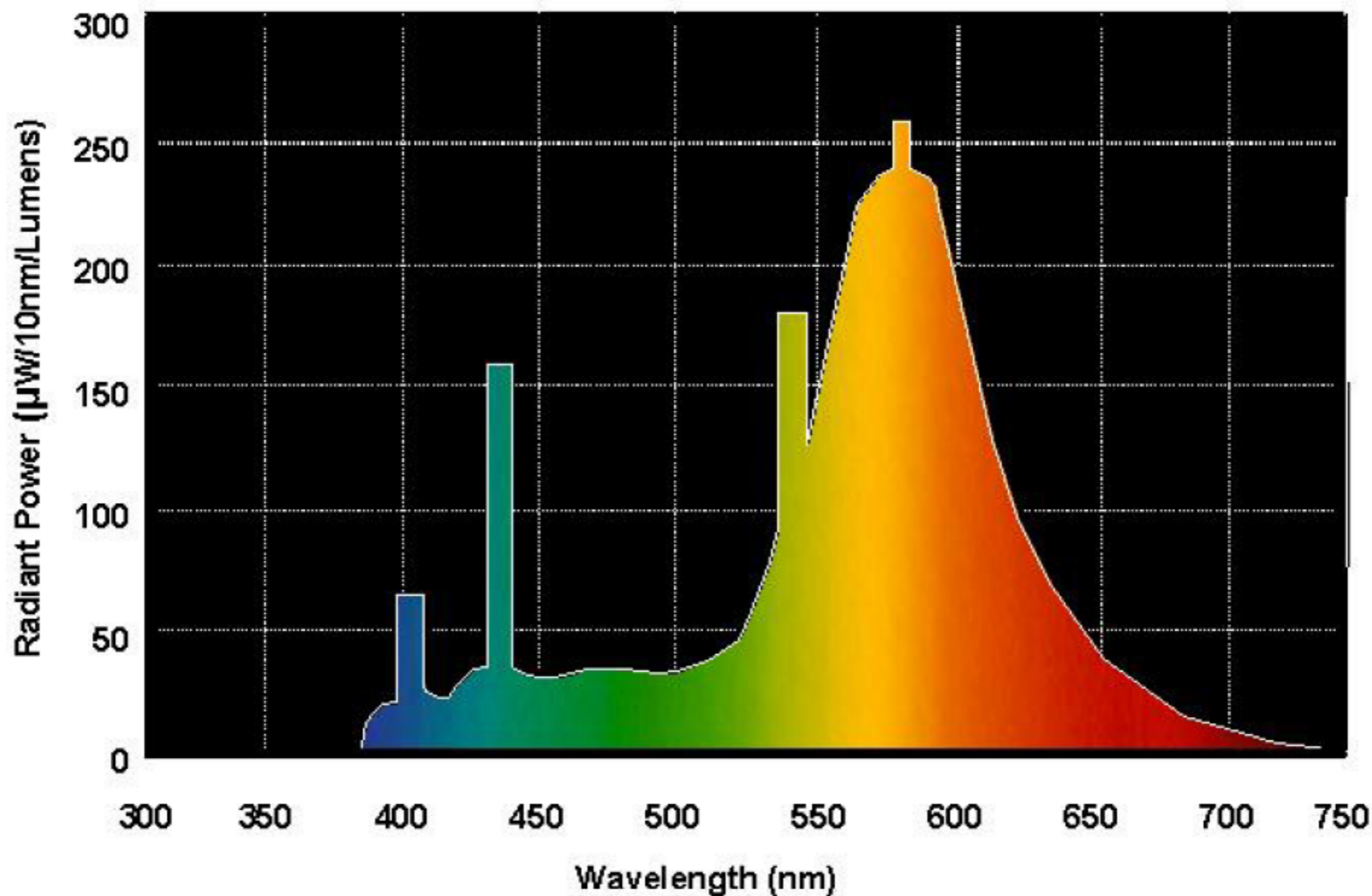


LUMILUX® Daylight
Colour 860

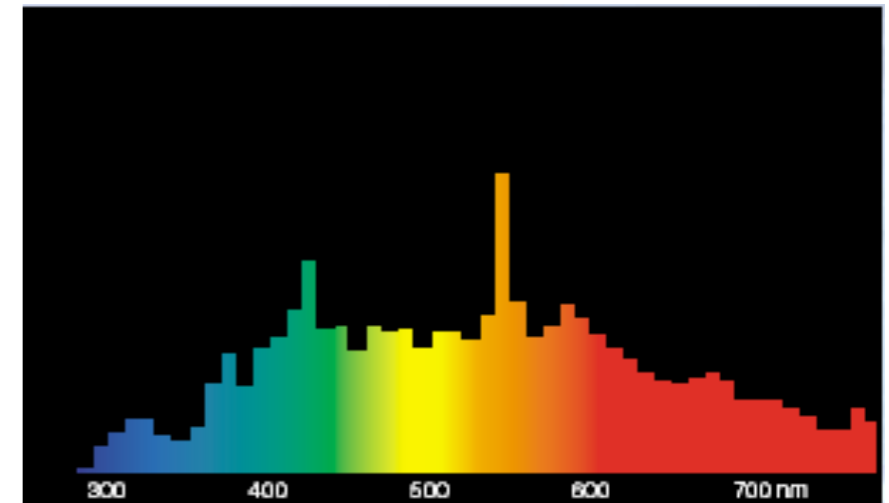
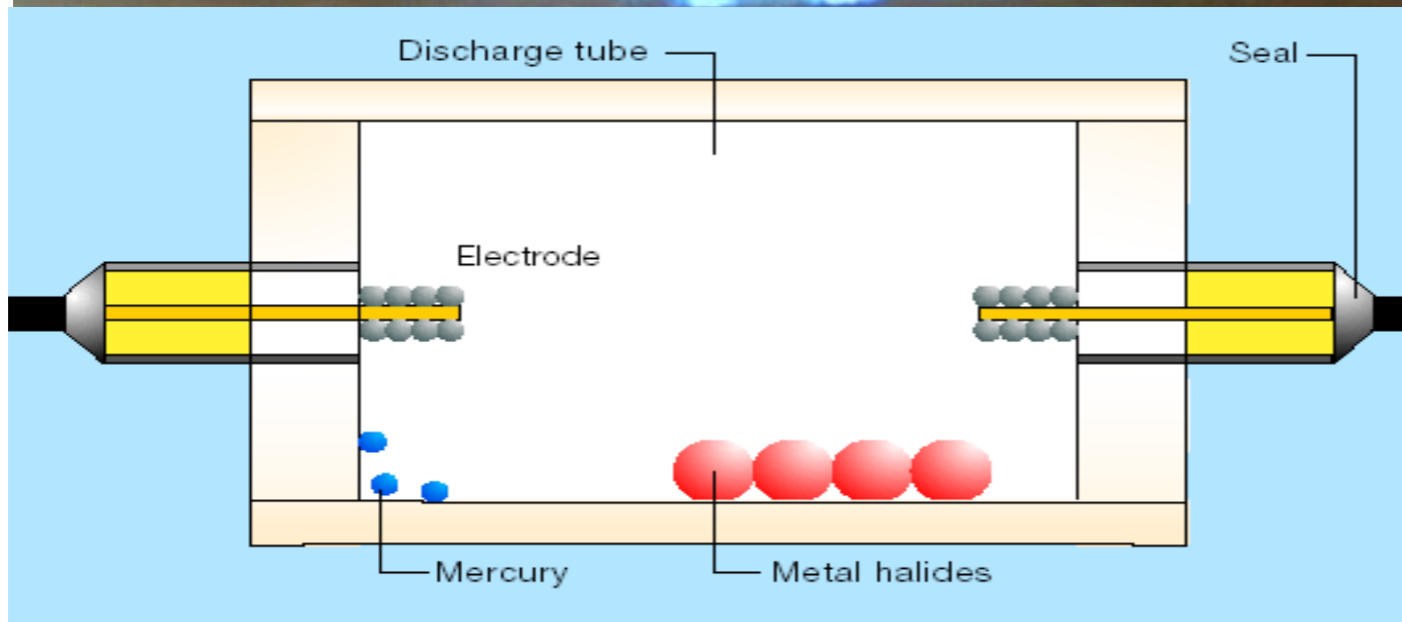
Zářivkové osvětlení - CWF



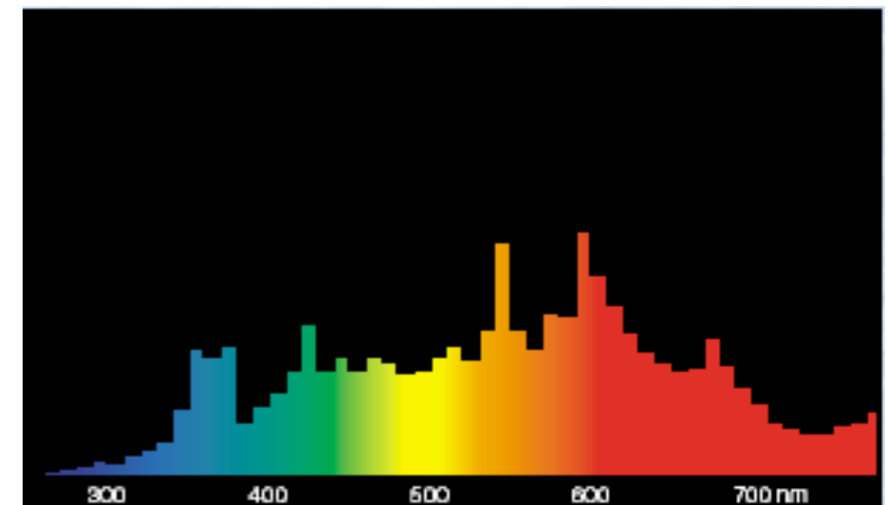
Zářivkové osvětlení WWF – Warm White



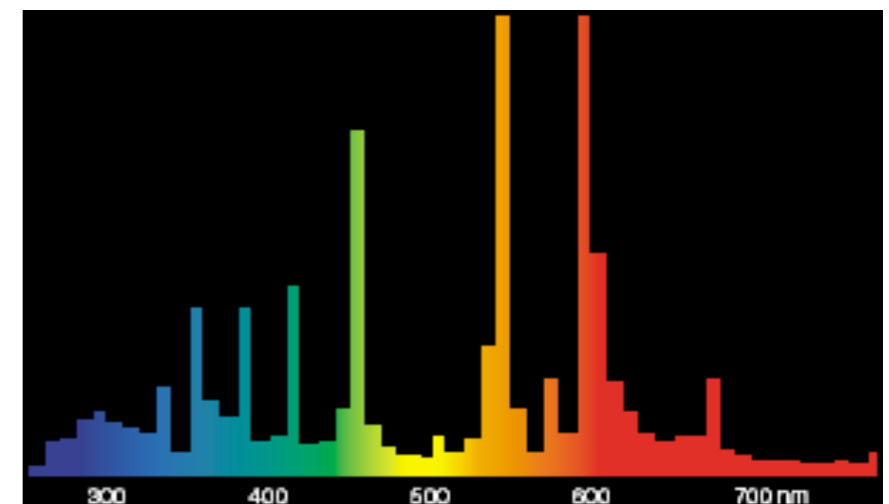
Vysokotlaké výbojky



POWERSTAR HQI®-TS 1000/2000 W/D/S



POWERSTAR HQI®-TS 1000 W/NDL/S



POWERSTAR HQI®-TS 2000 W/N/L

Light Emitting Diode - LED

vlastnosti LED:

spektrum optického záření s min. UV a IR

miniaturní rozměry

usměrněný světelný tok

možnost stmívání

vysoká životnost

současné nedostatky

tepelné ztráty na stabil. členech

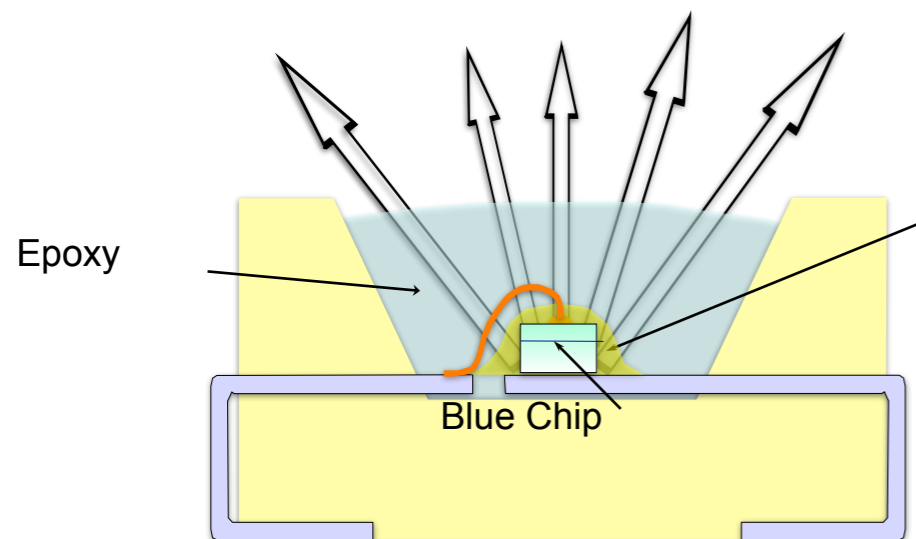
cena

teplotní závislost



Bílé světlo

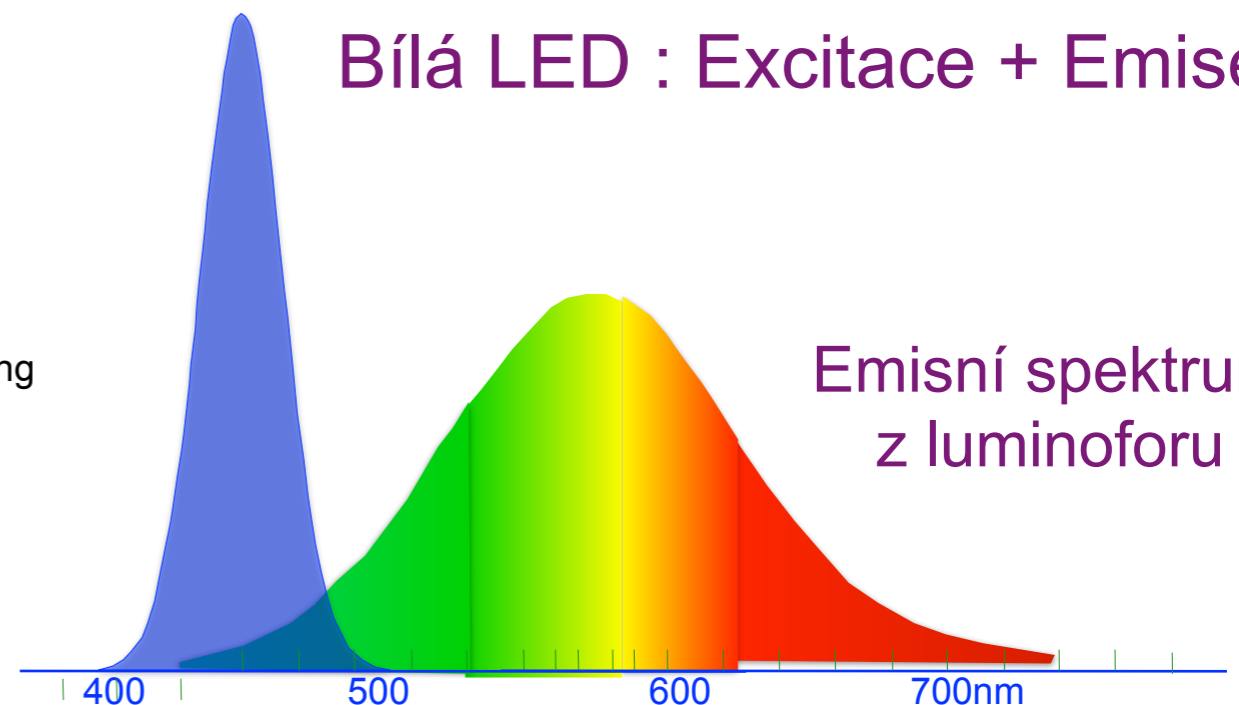
= Modré + Žluté světlo



Bílá LED : Excitace + Emise

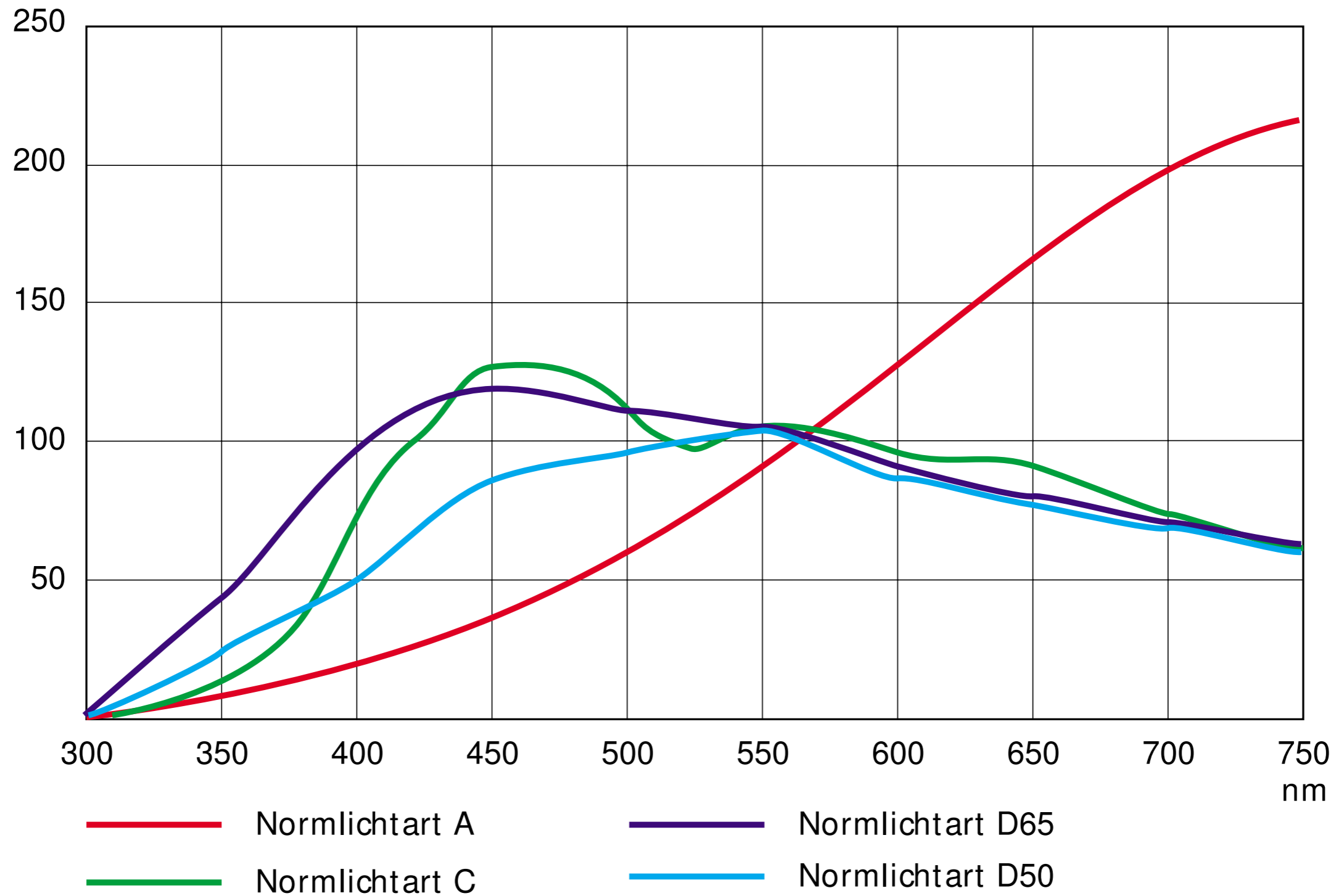
Yellow emitting Phosphor

Emisní spektrum z luminoforu

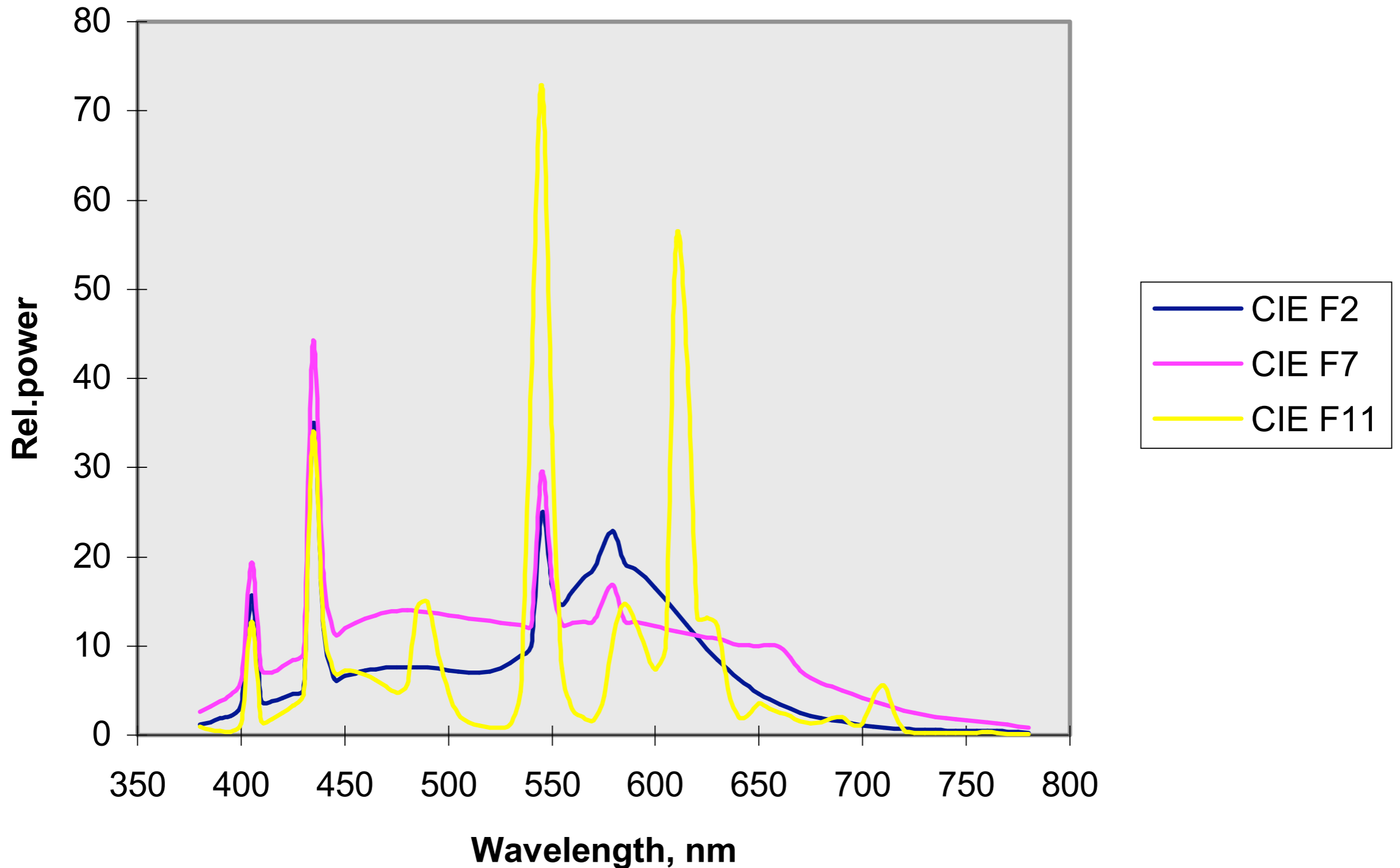


Excitační spektrum

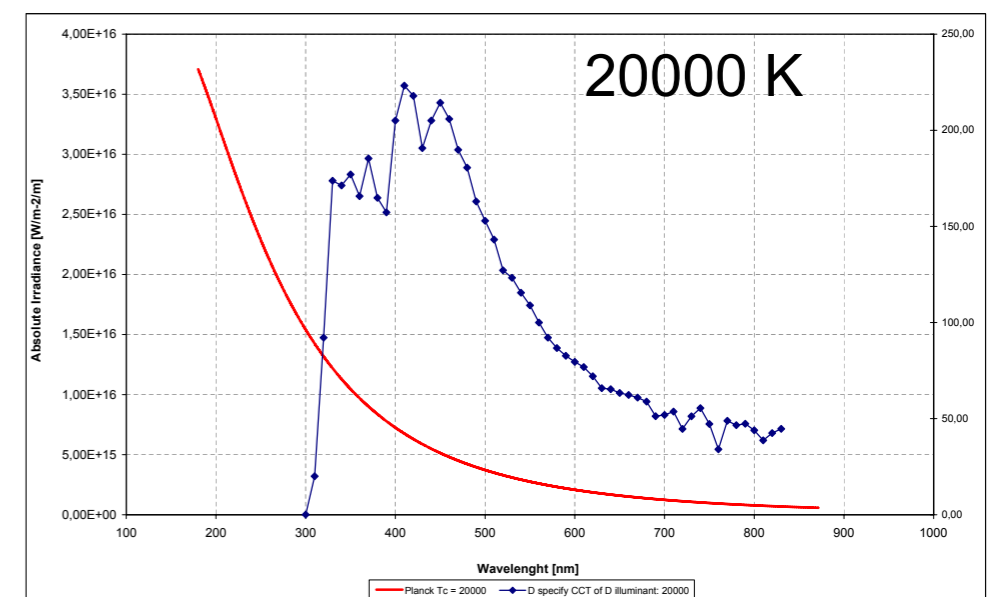
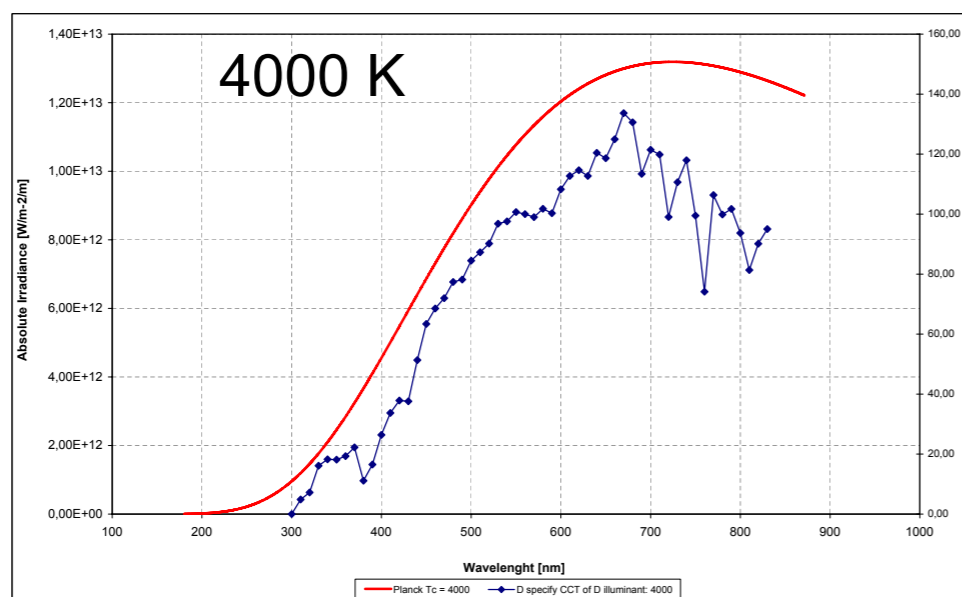
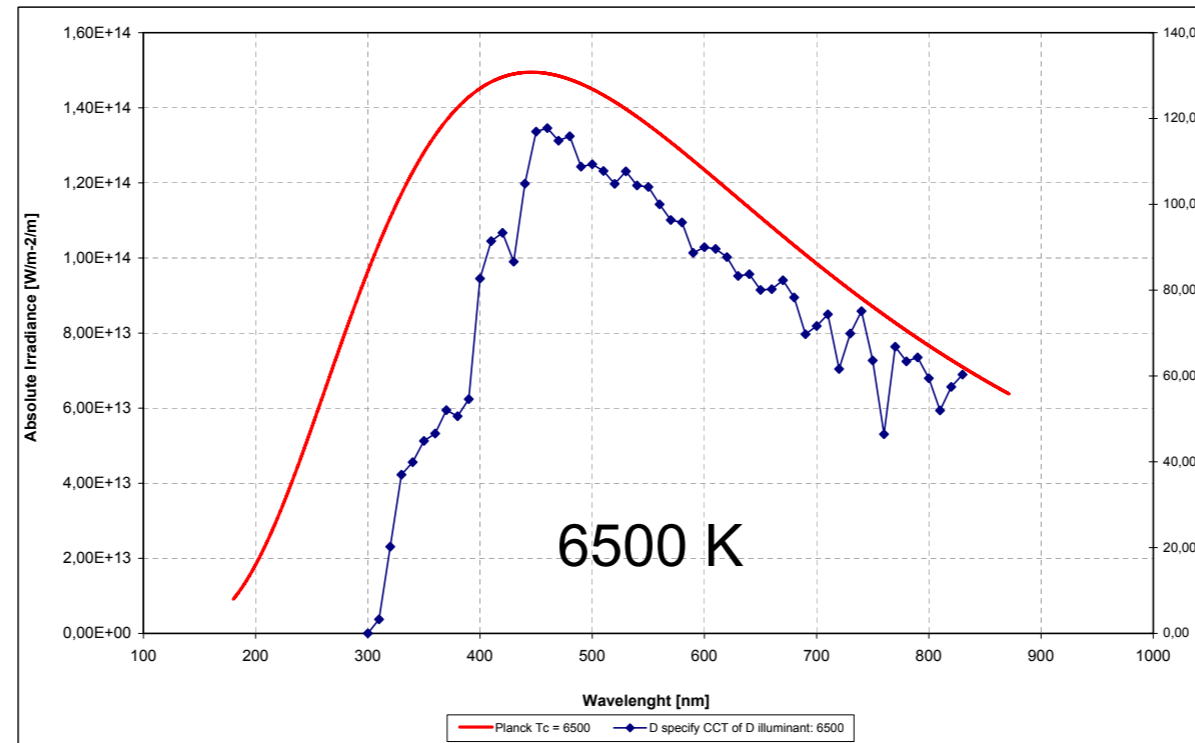
CIE standardní osvětlení I



CIE standardní osvětlení II



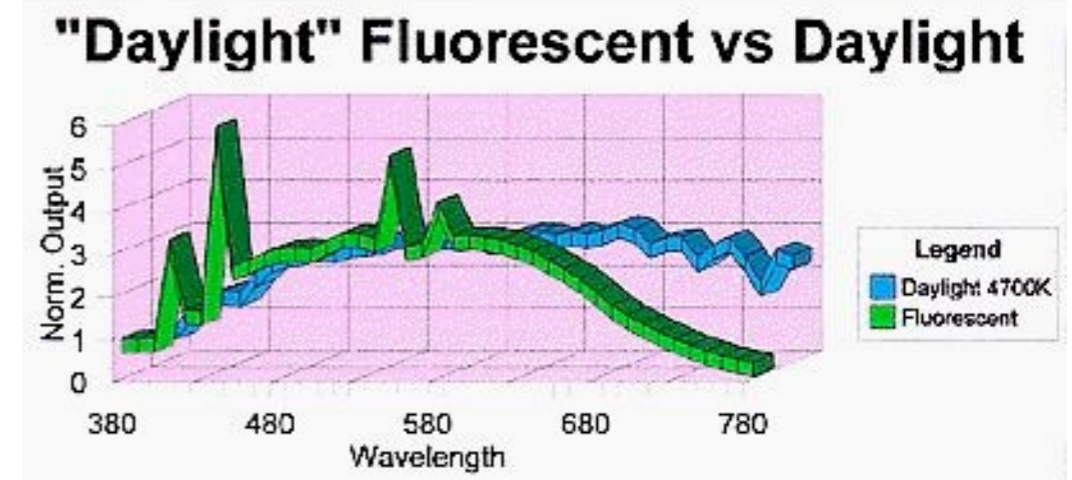
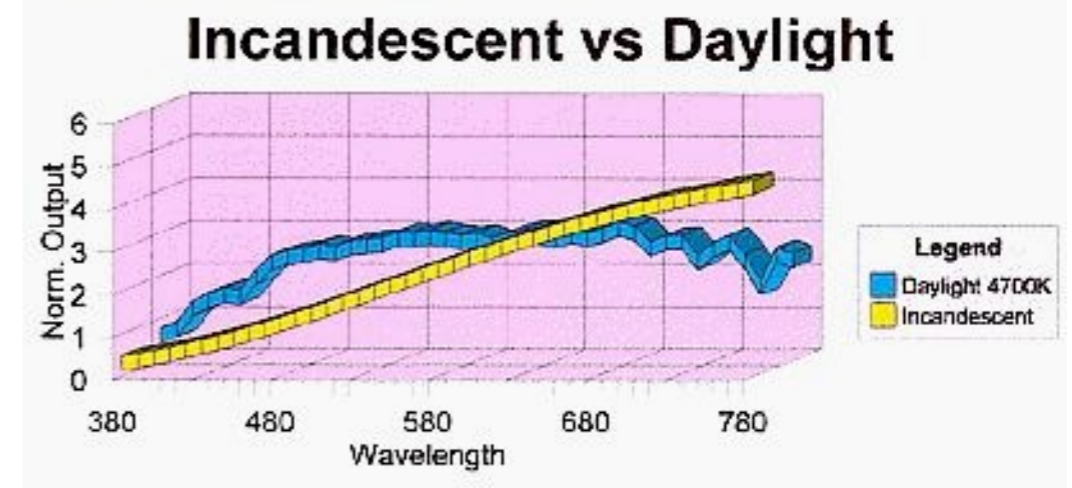
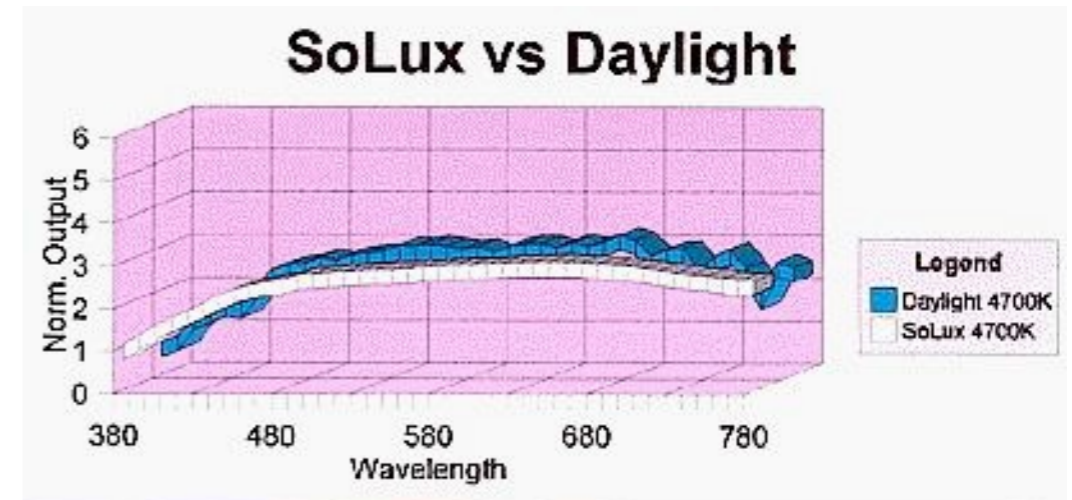
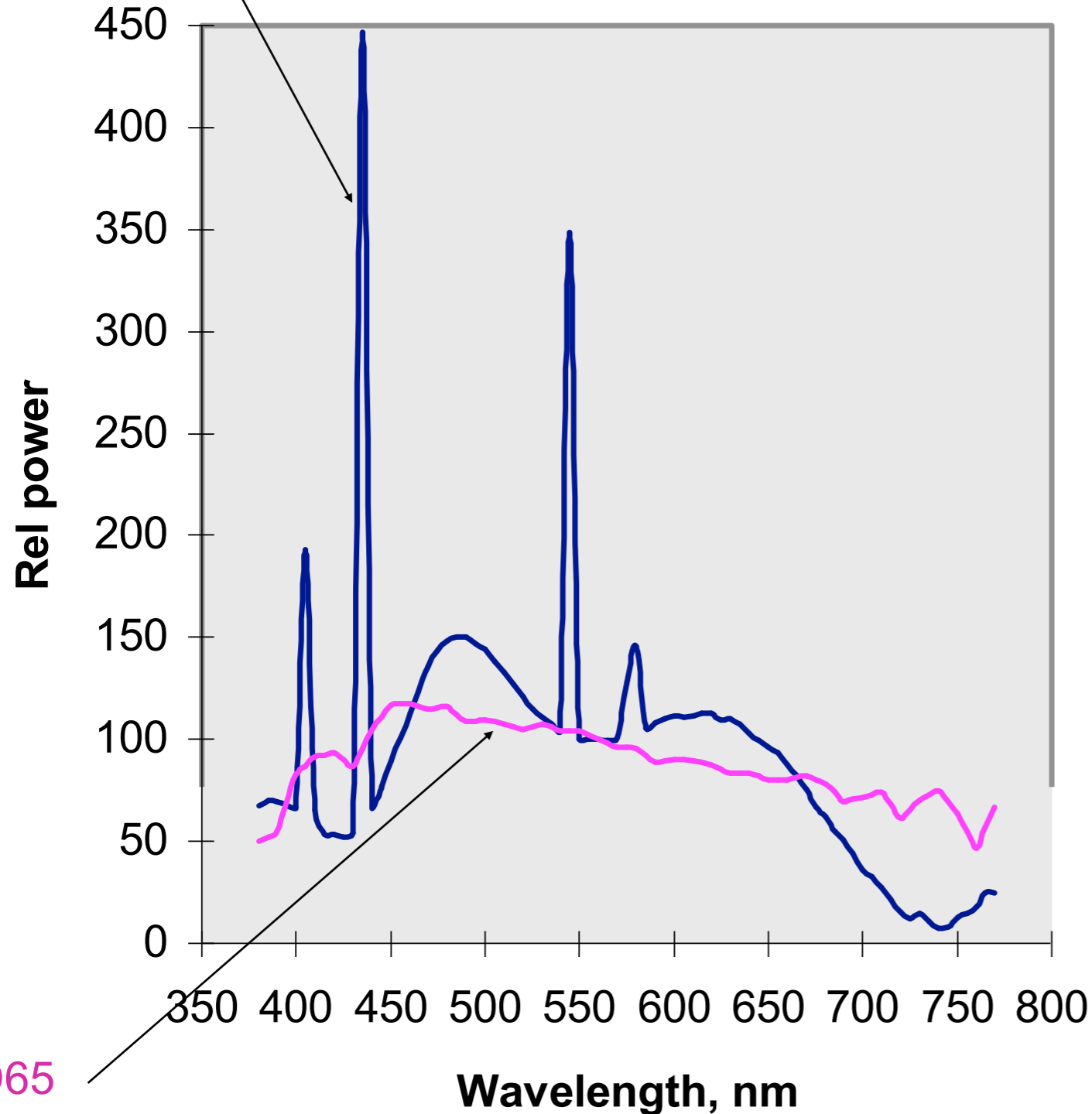
CIE osvětlení D



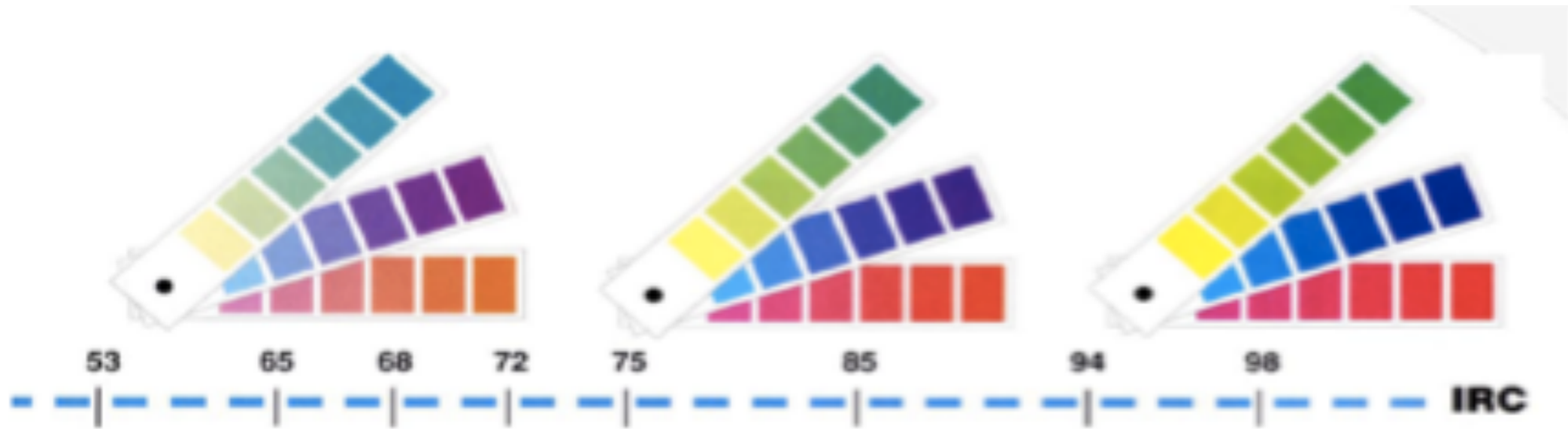
Osvětlení D může být na intervalu 4000-25000K

Simulátory denního světla

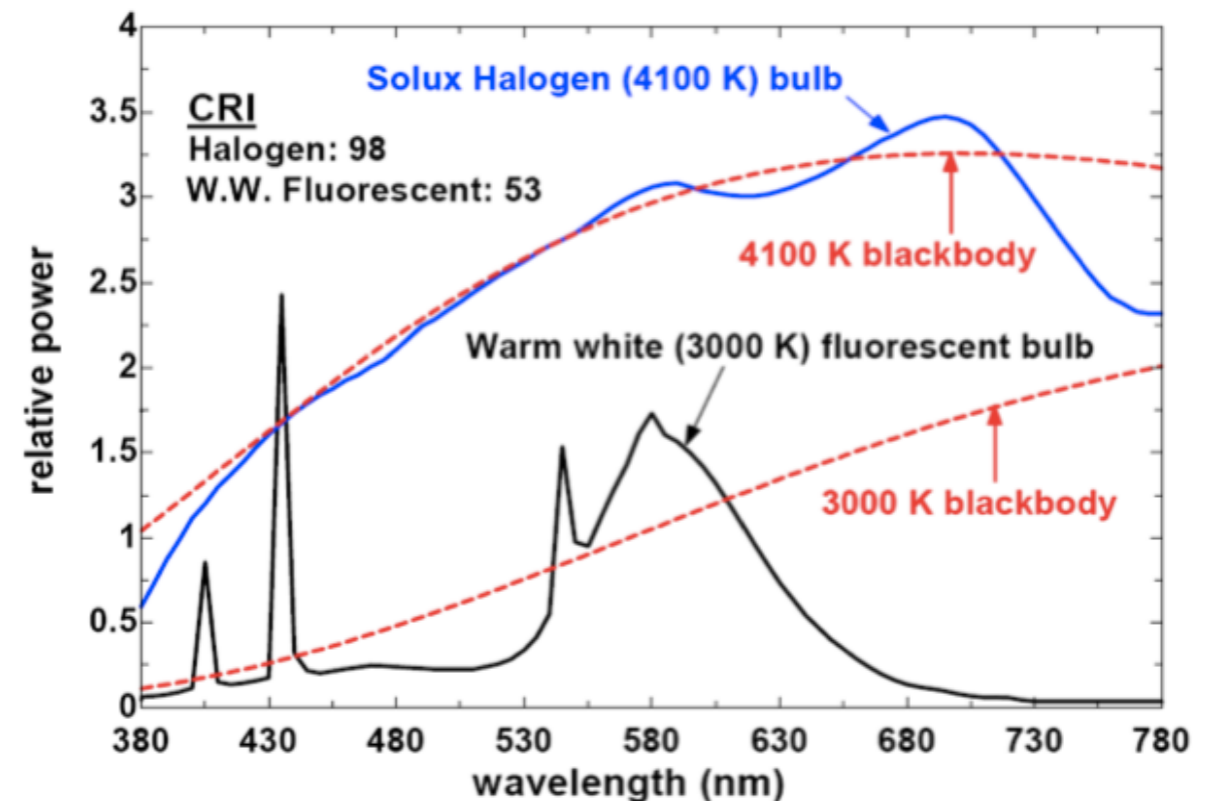
FLR40S D EDL D65/M



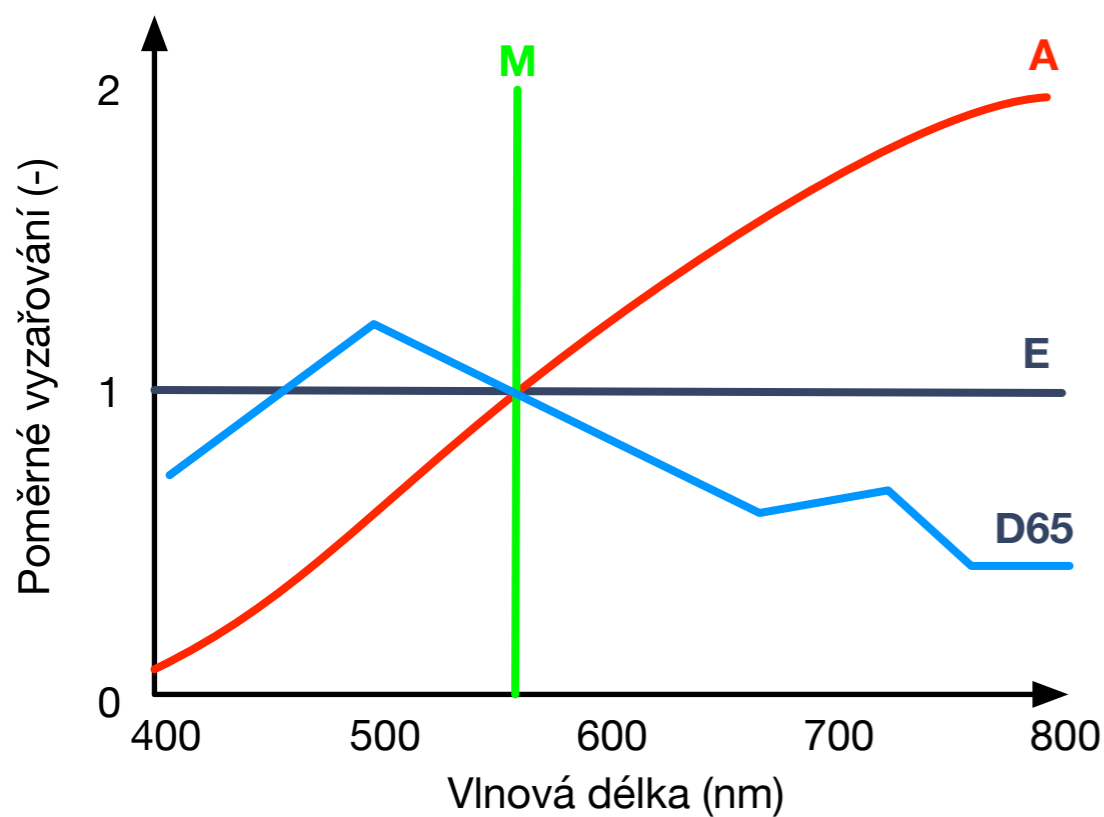
CRI – index podání barev I



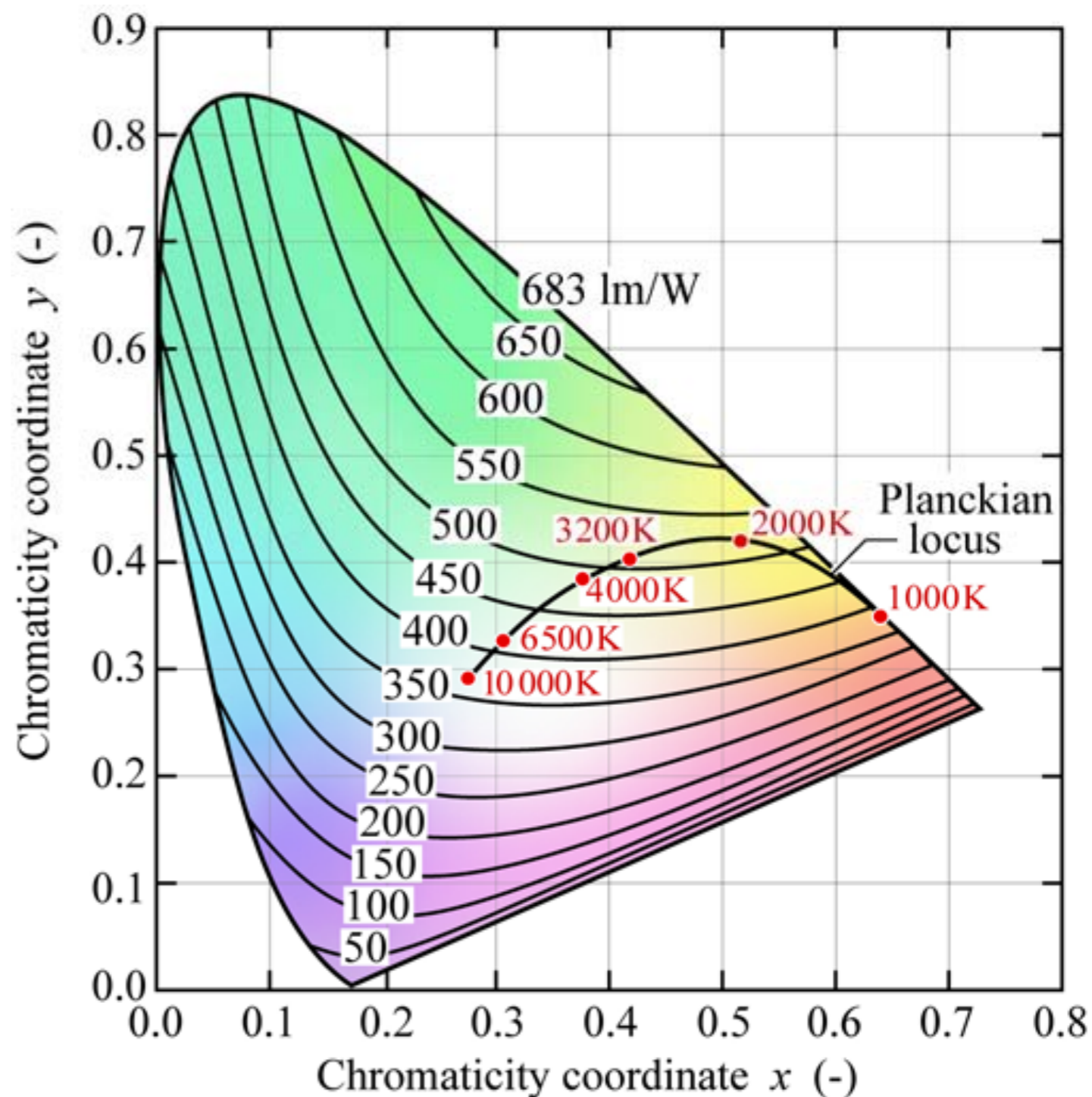
| <i>Light source</i> | <i>Color rendering index</i> | |
|--|------------------------------|--------|
| Sunlight | 100 | (a) |
| Quartz halogen W filament incandescent light | 100 | (b) |
| W filament incandescent light | 100 | (b) |
| Fluorescent light | 60 to 85 | (b) |
| Trichromatic white light LED | 60 to 85 | (b, c) |
| Phosphor-based white LED | 55 to 85 | (b, c) |
| Broadened dichromatic white light LED | 10 to 60 | (b, c) |
| Hg vapor light coated with phosphor | 50 | (b) |
| Hg vapor light | 33 | (b) |
| Low and high-pressure Na vapor light | 10 and 22 | (b) |
| Green monochromatic light | - 50 | (c) |



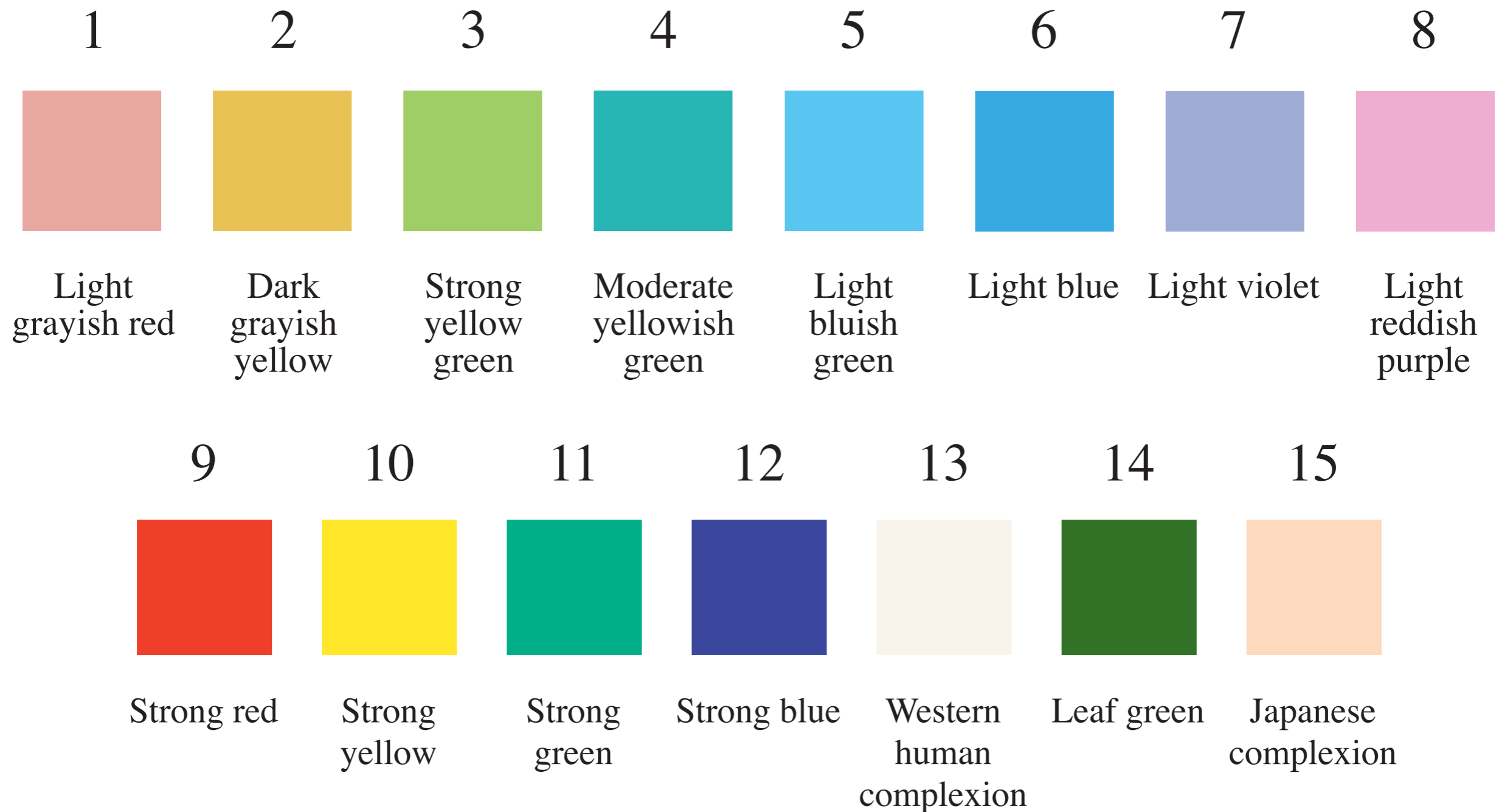
Poměrná světelná účinnost různých světelných zdrojů



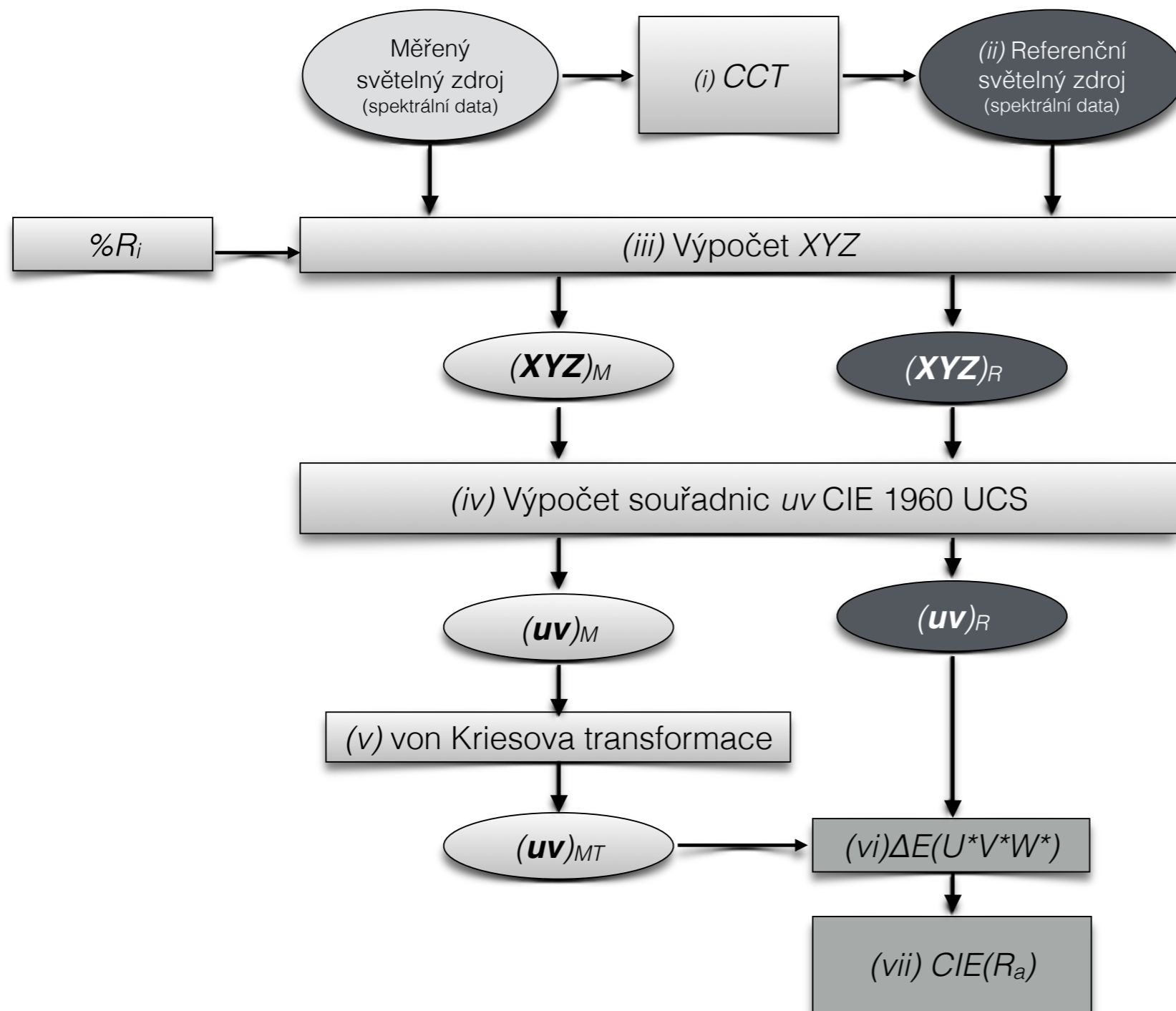
A = 154 lm/W
E = 180 lm/W
D65 = 204 lm/W
M = 683 lm/W



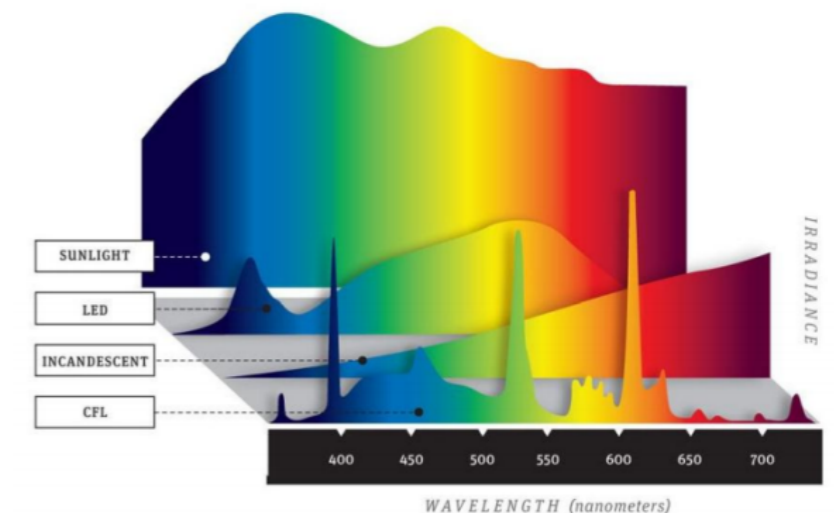
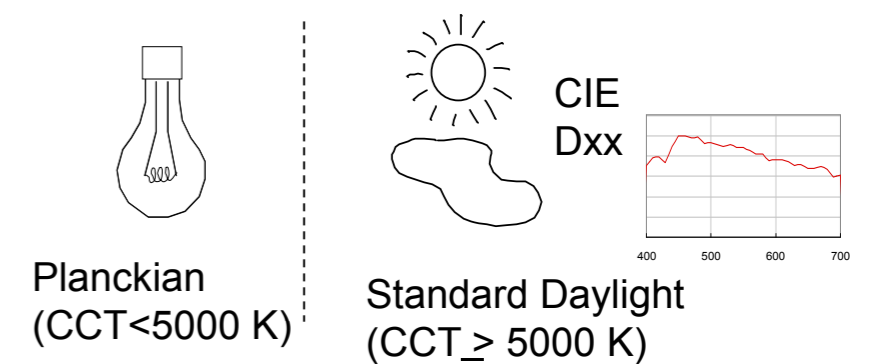
CRI – index podání barev II



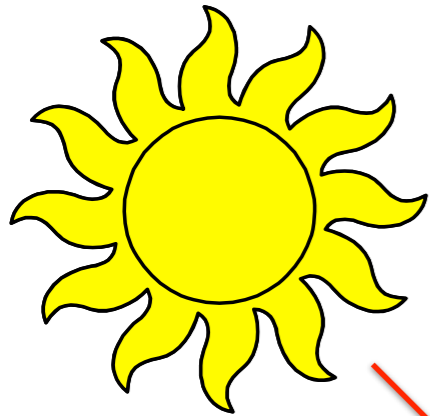
Výpočet indexu podání barev



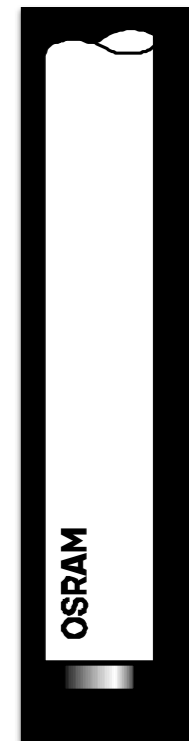
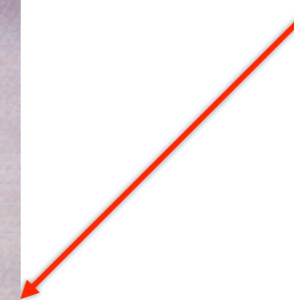
Reference source



Stabilita odstínu (color constancy) I

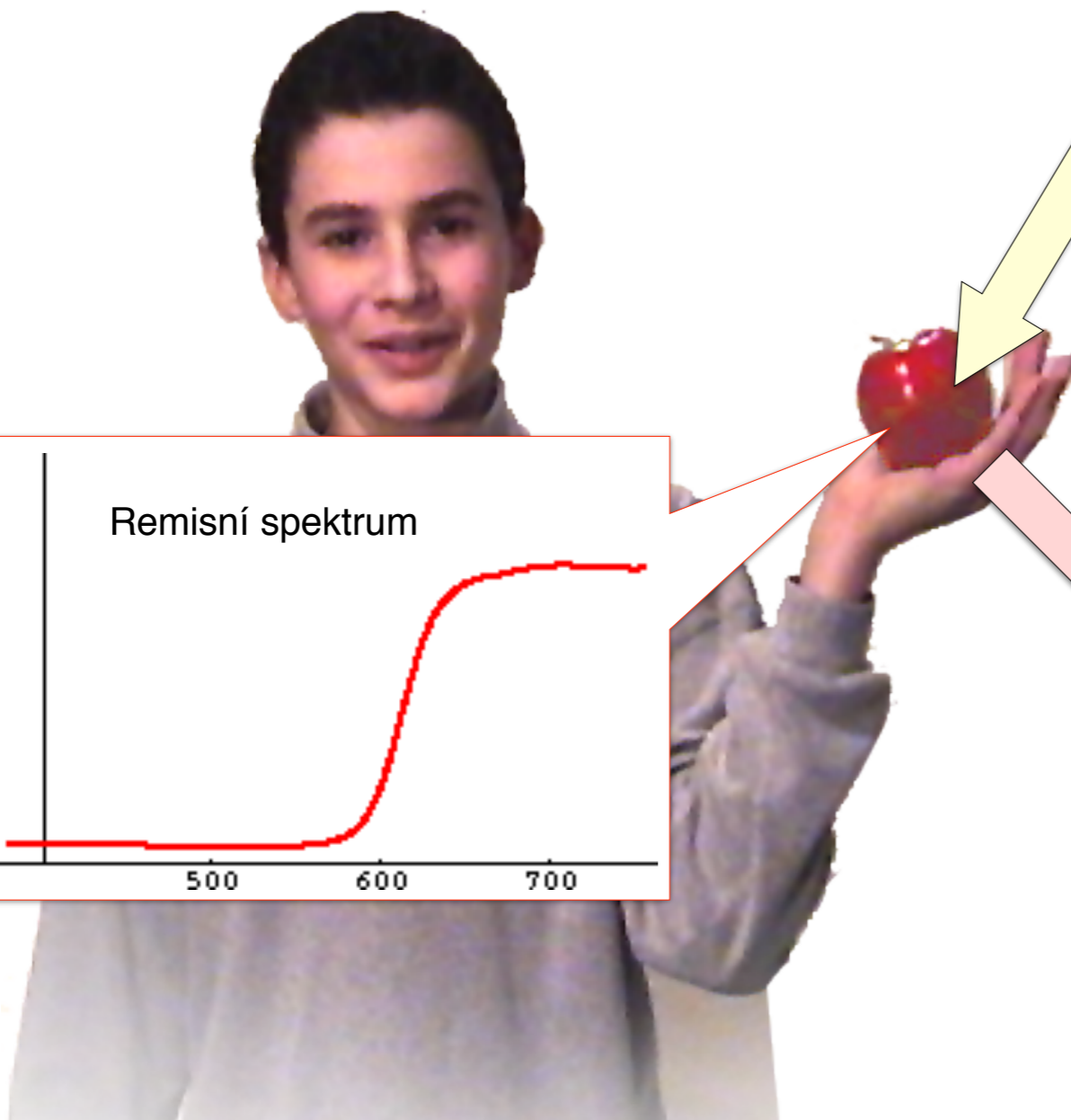
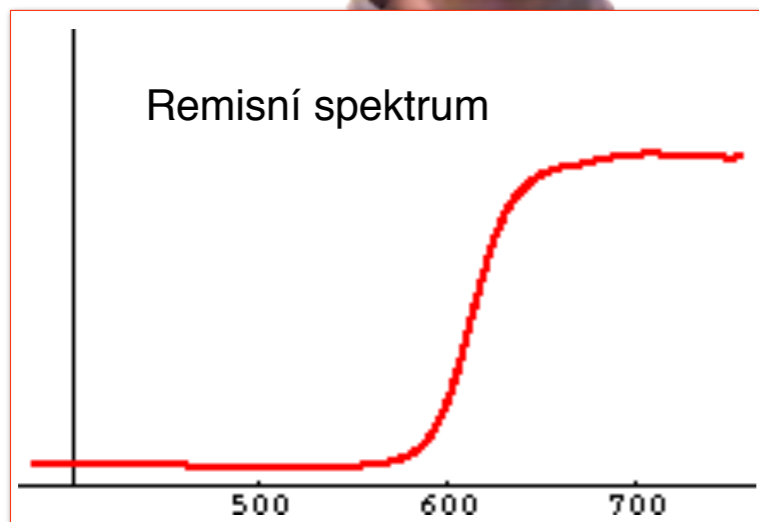
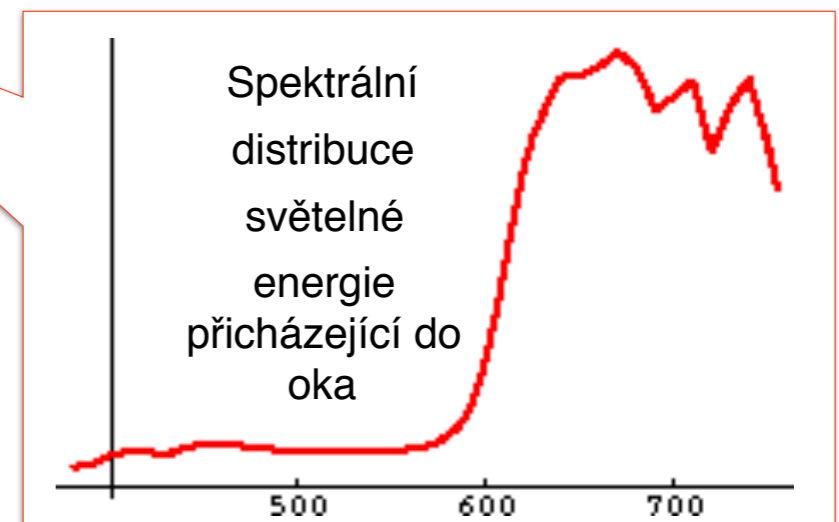
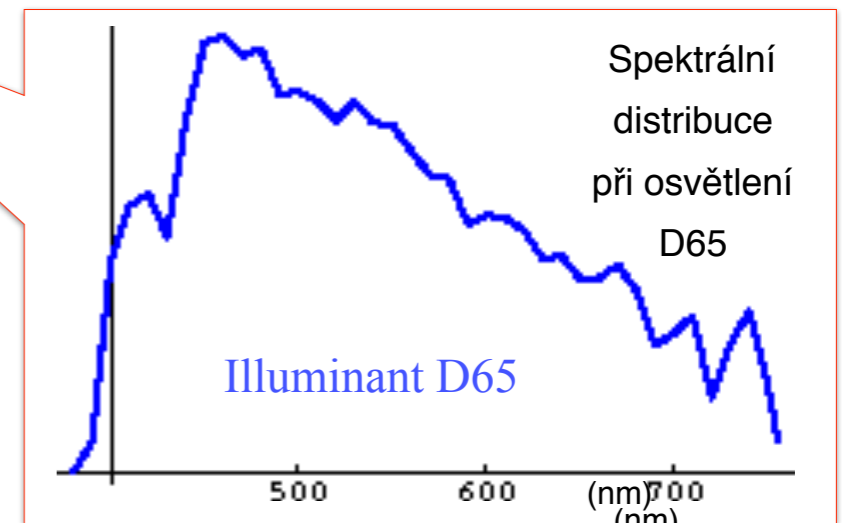
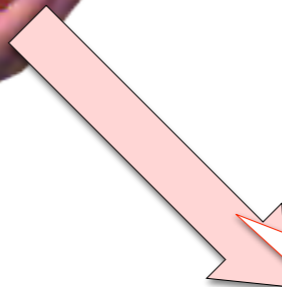
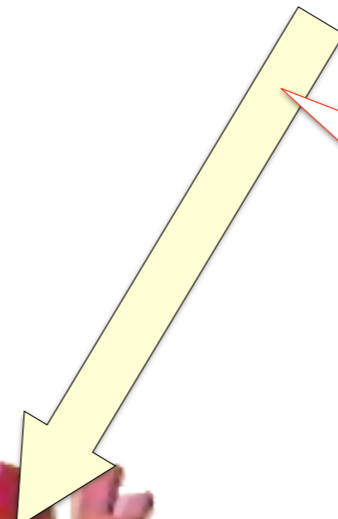
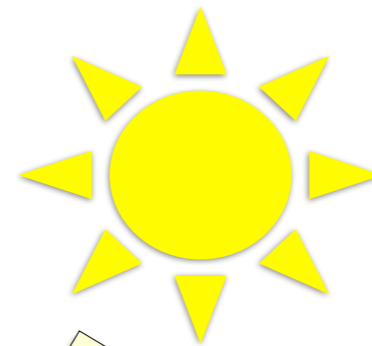


D65

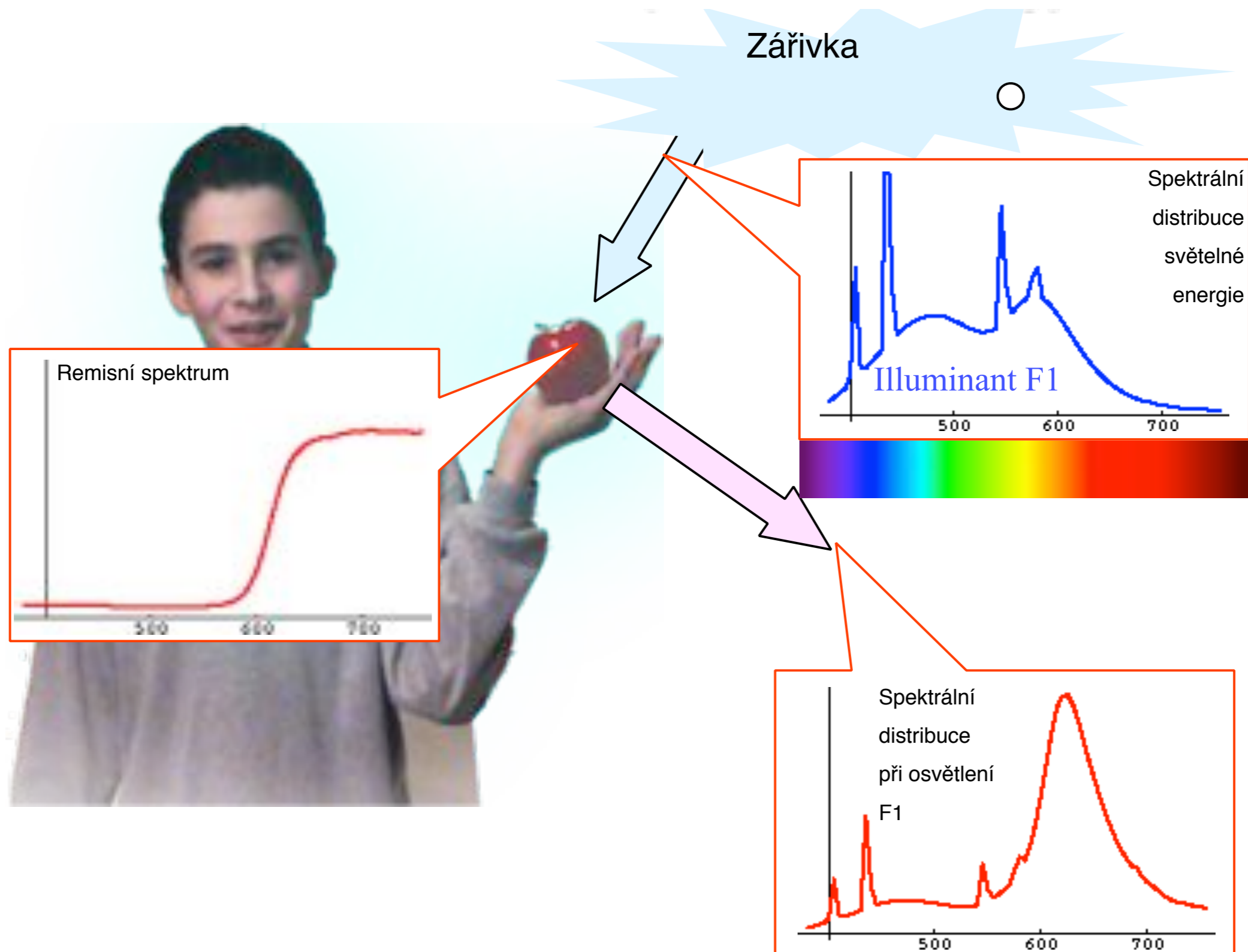


TL84/F11

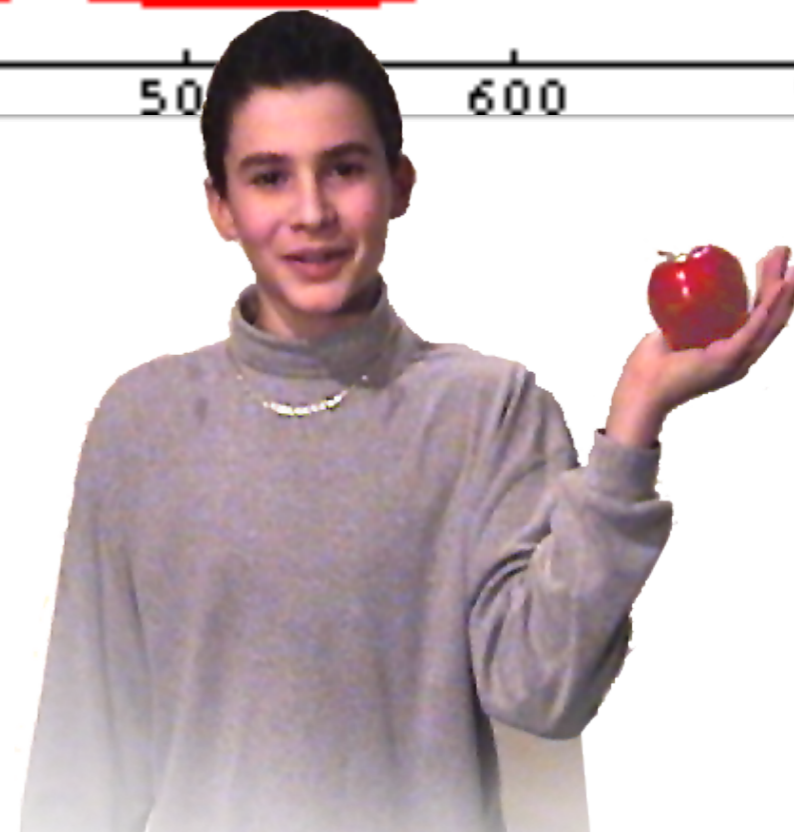
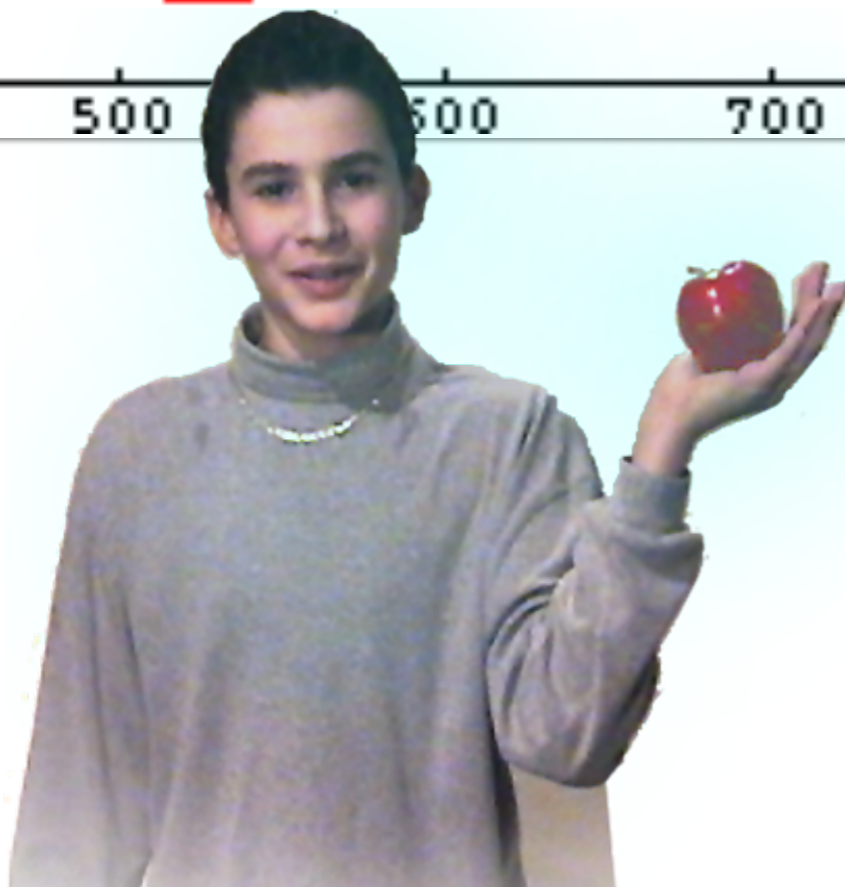
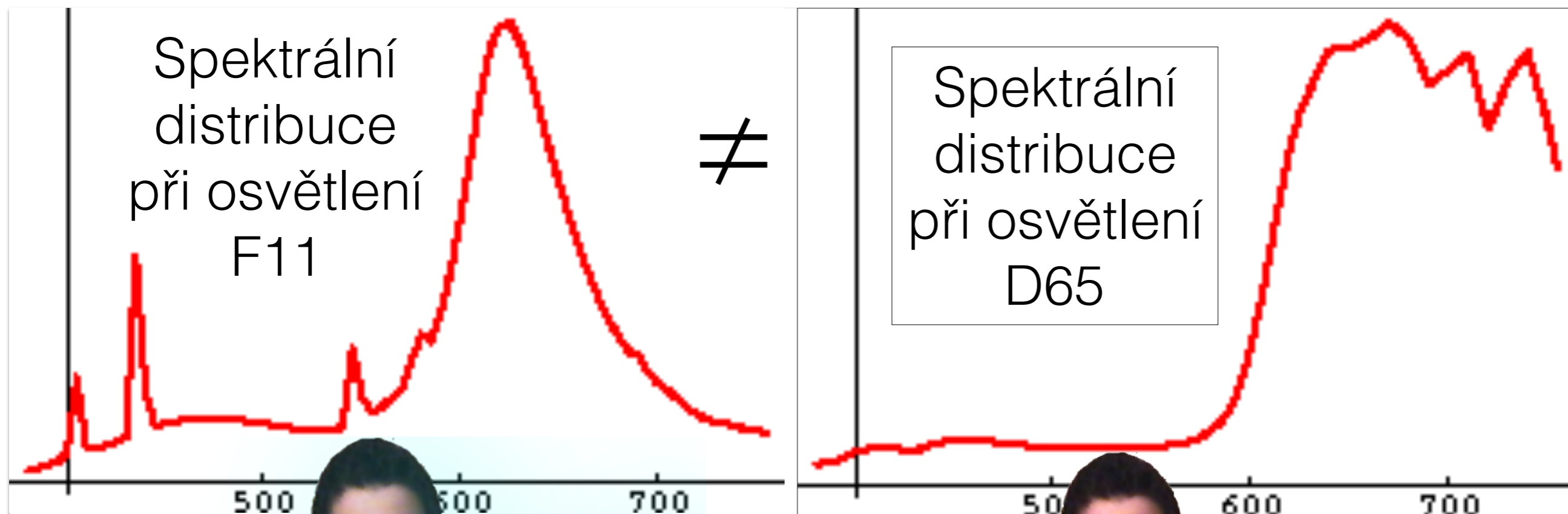
Stabilita odstínu (color constancy) II



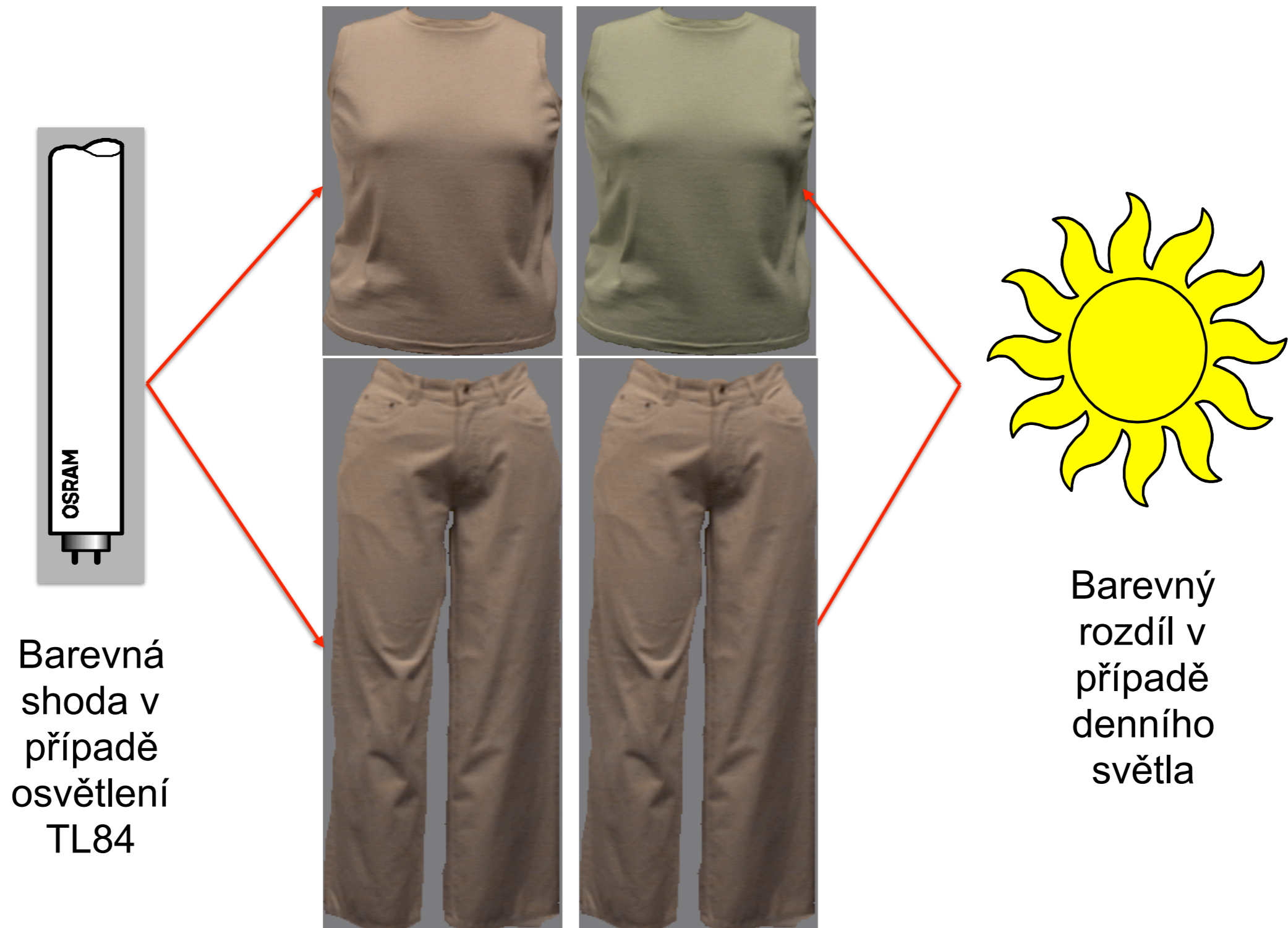
Stabilita odstínu (color constancy) II



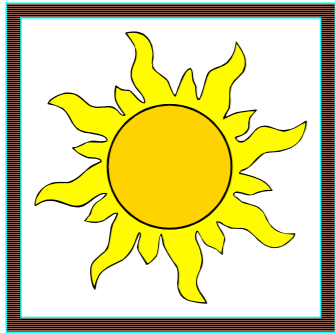
Stabilita odstínu (color constancy) IV



Metamerie



Hodnocení metamerie I



D65

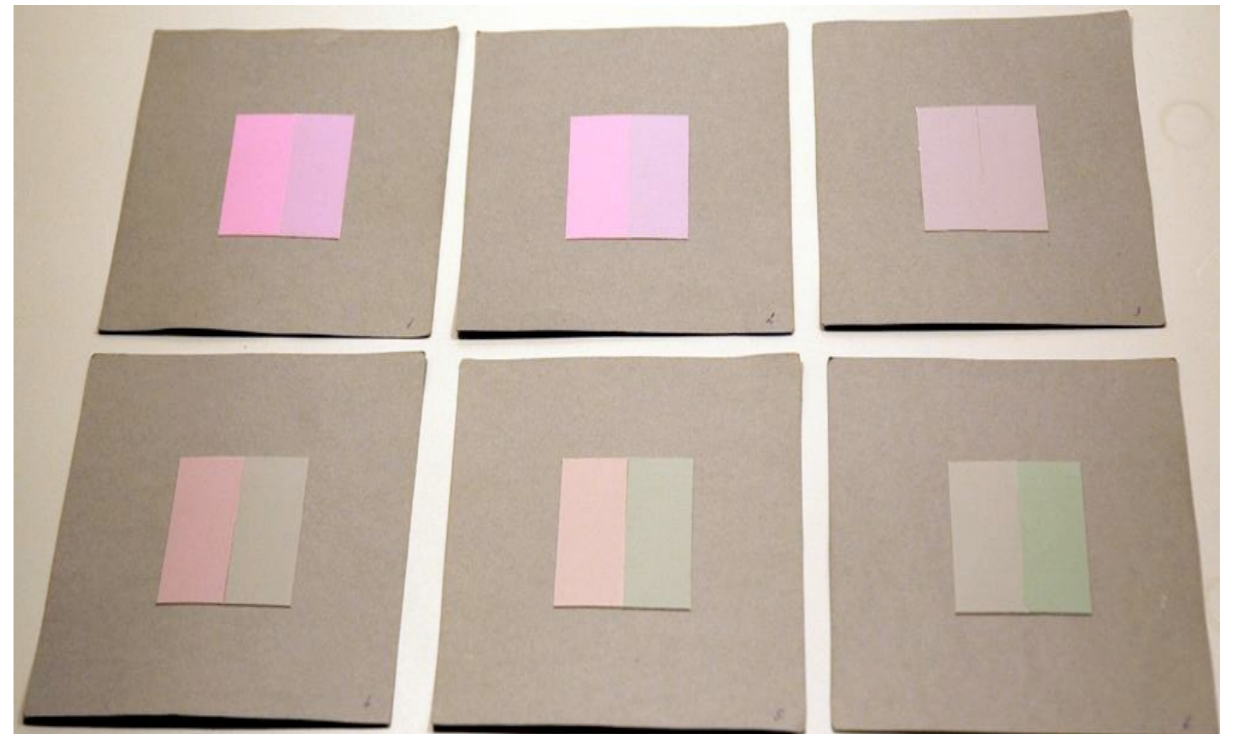
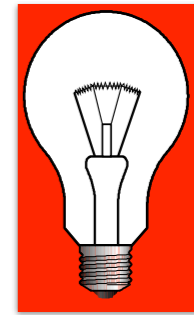


$$X_1^{D65} = X_2^{D65}$$

$$Y_1^{D65} = Y_2^{D65}$$

$$Z_1^{D65} = Z_2^{D65}$$

A

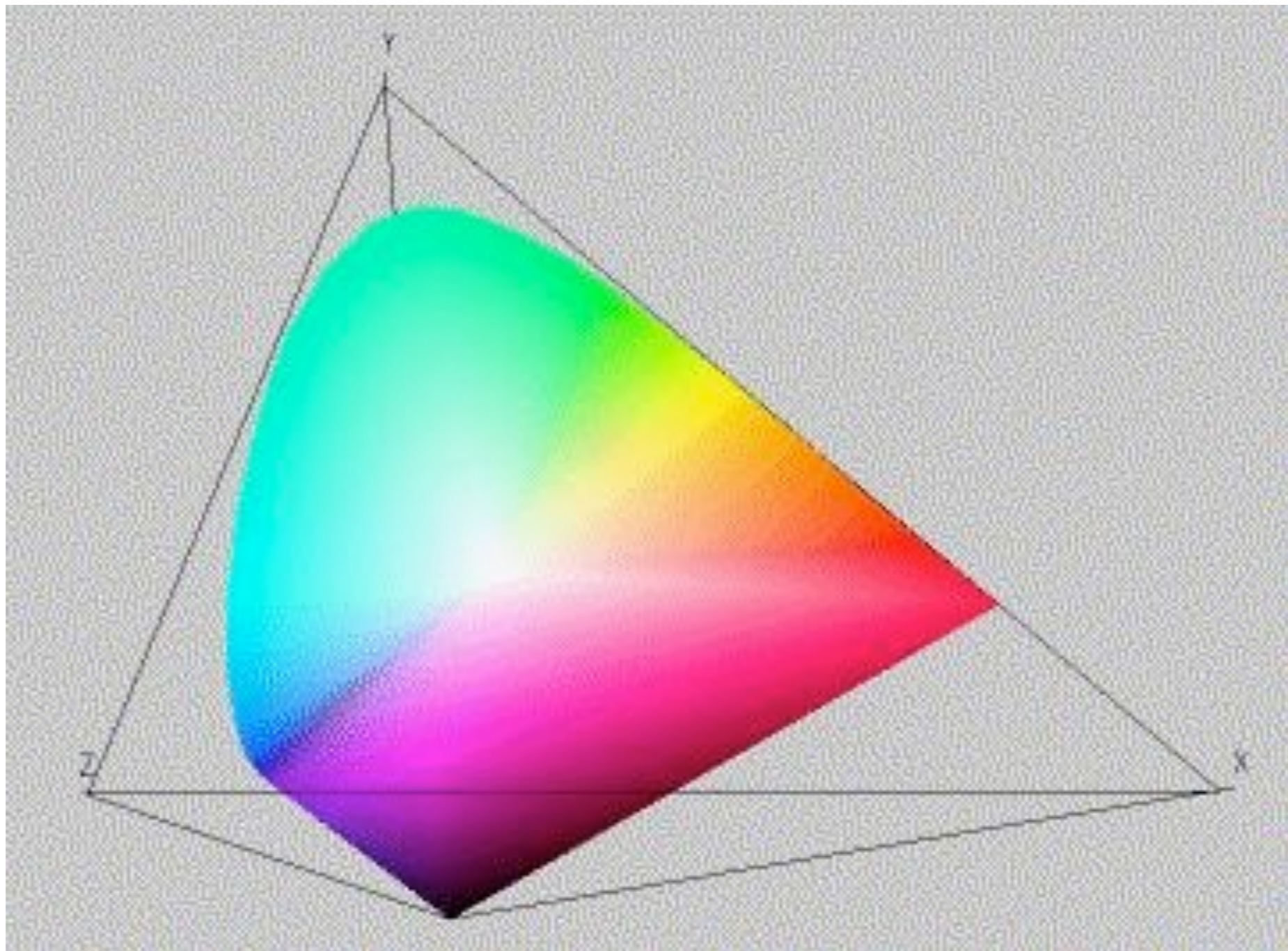


$$X_1^{(A, TL84, CWF..)} \neq X_2^{(A, TL84, CWF..)}$$

$$Y_1^{(A, TL84, CWF..)} \neq Y_2^{(A, TL84, CWF..)}$$

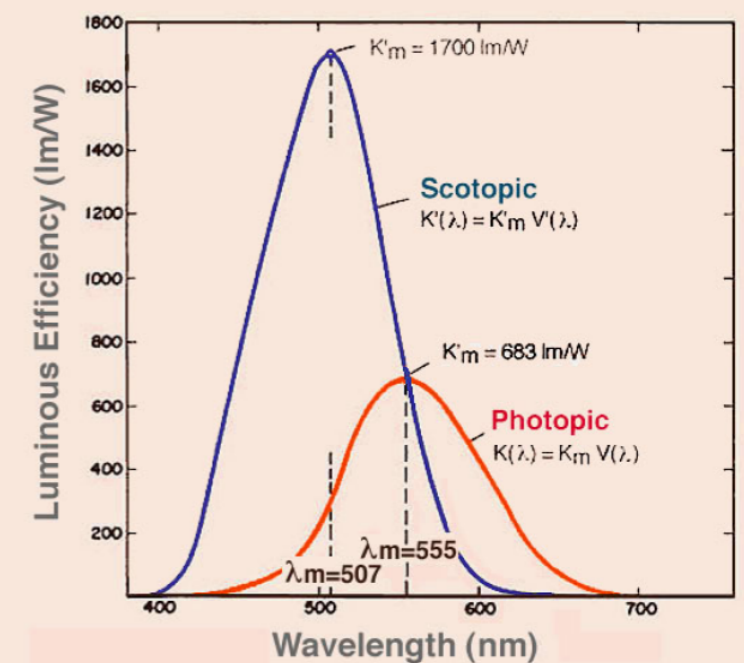
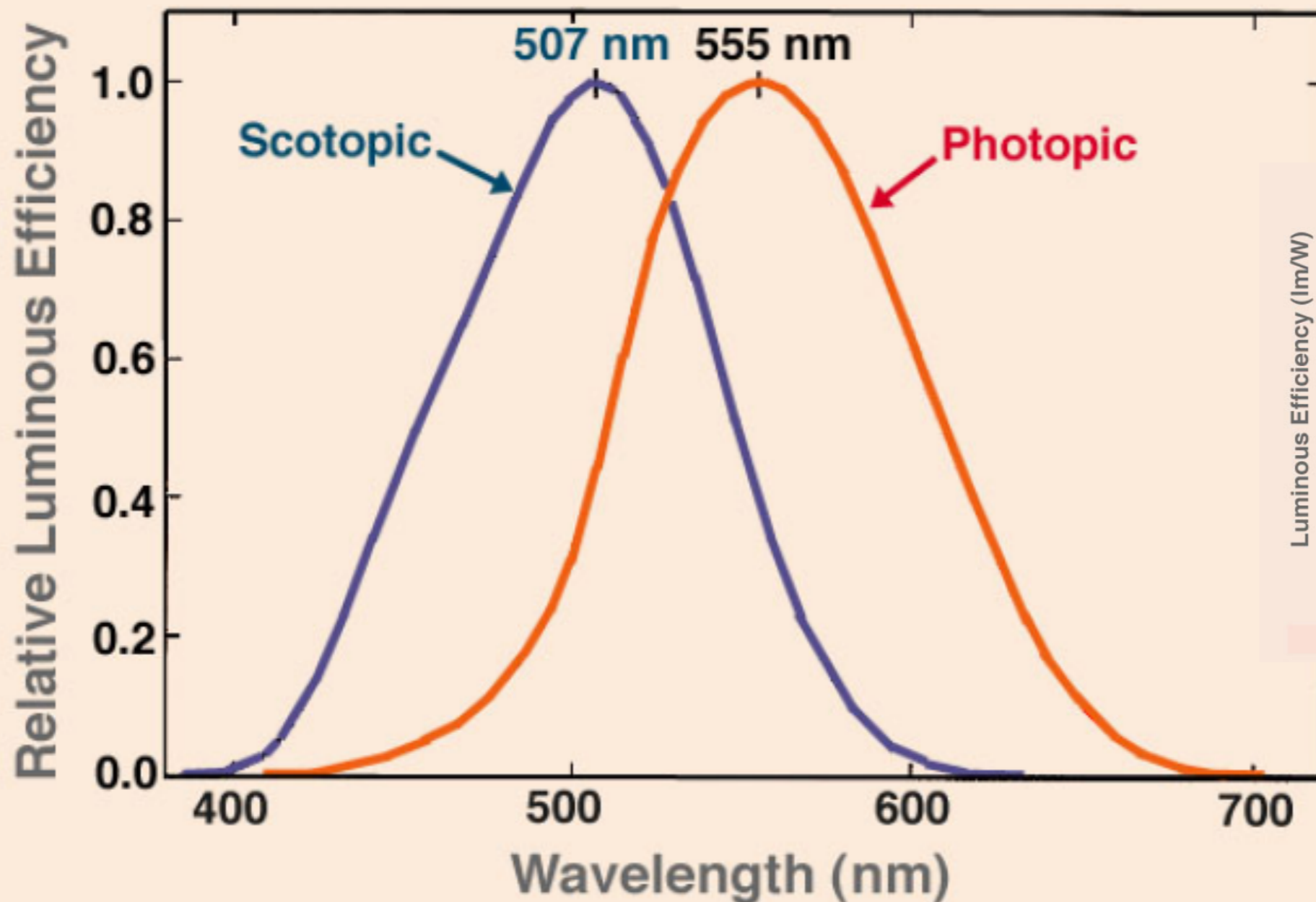
$$Z_1^{(A, TL84, CWF..)} \neq Z_2^{(A, TL84, CWF..)}$$

Kolorimetrické soustavy

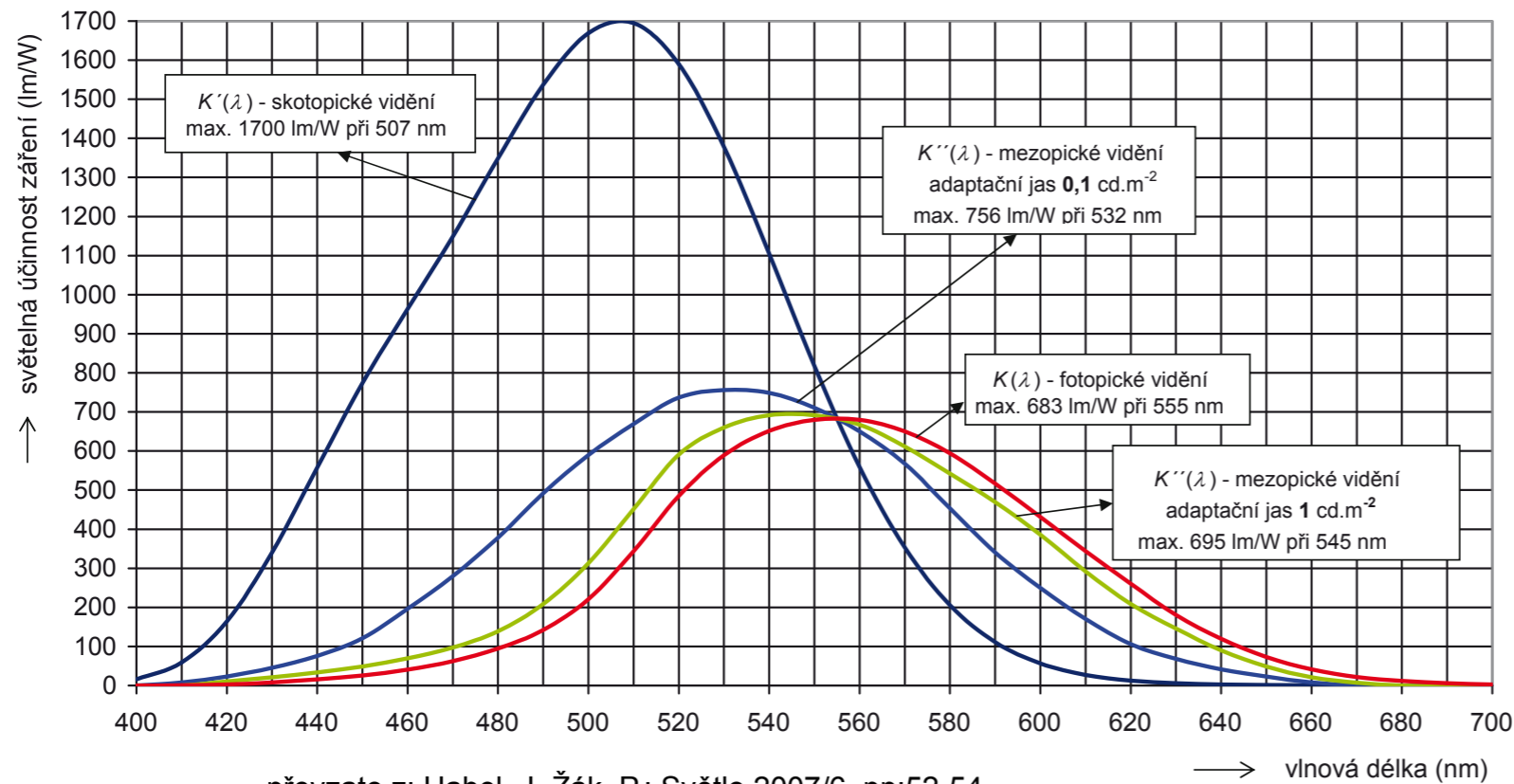


Spektrální luminózní funkce V_λ

(poměrná spektrální citlivost normálního pozorovatele)



Osvětlenost



Purkyňův jev

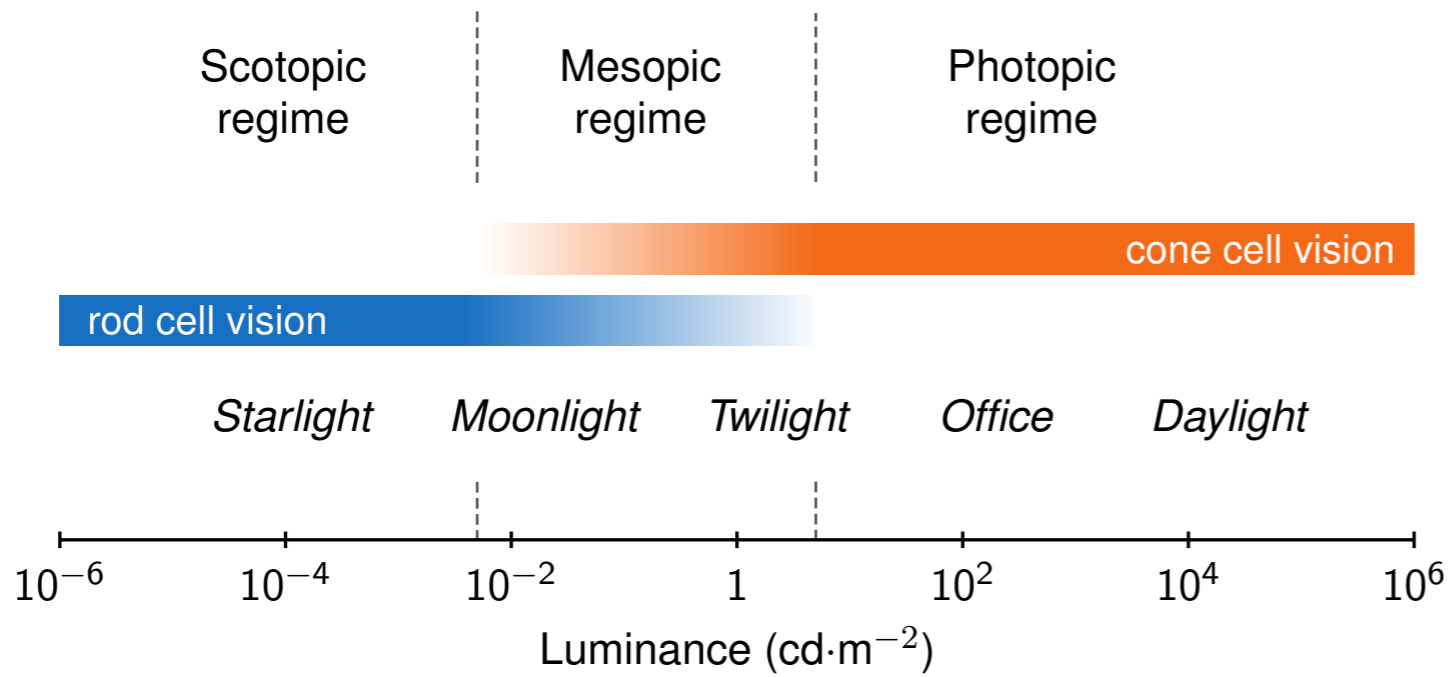
[podle J.E.Purkyně], posun citlivosti vnímání jednotlivých barev okem; při adaptaci na tmu se citlivost posunuje ke kratším vlnovým délkám, při adaptaci na světlo k delším vlnovým délkám světla.

Sunlight Overcast Office Corridor Dusk Street Moon Stars

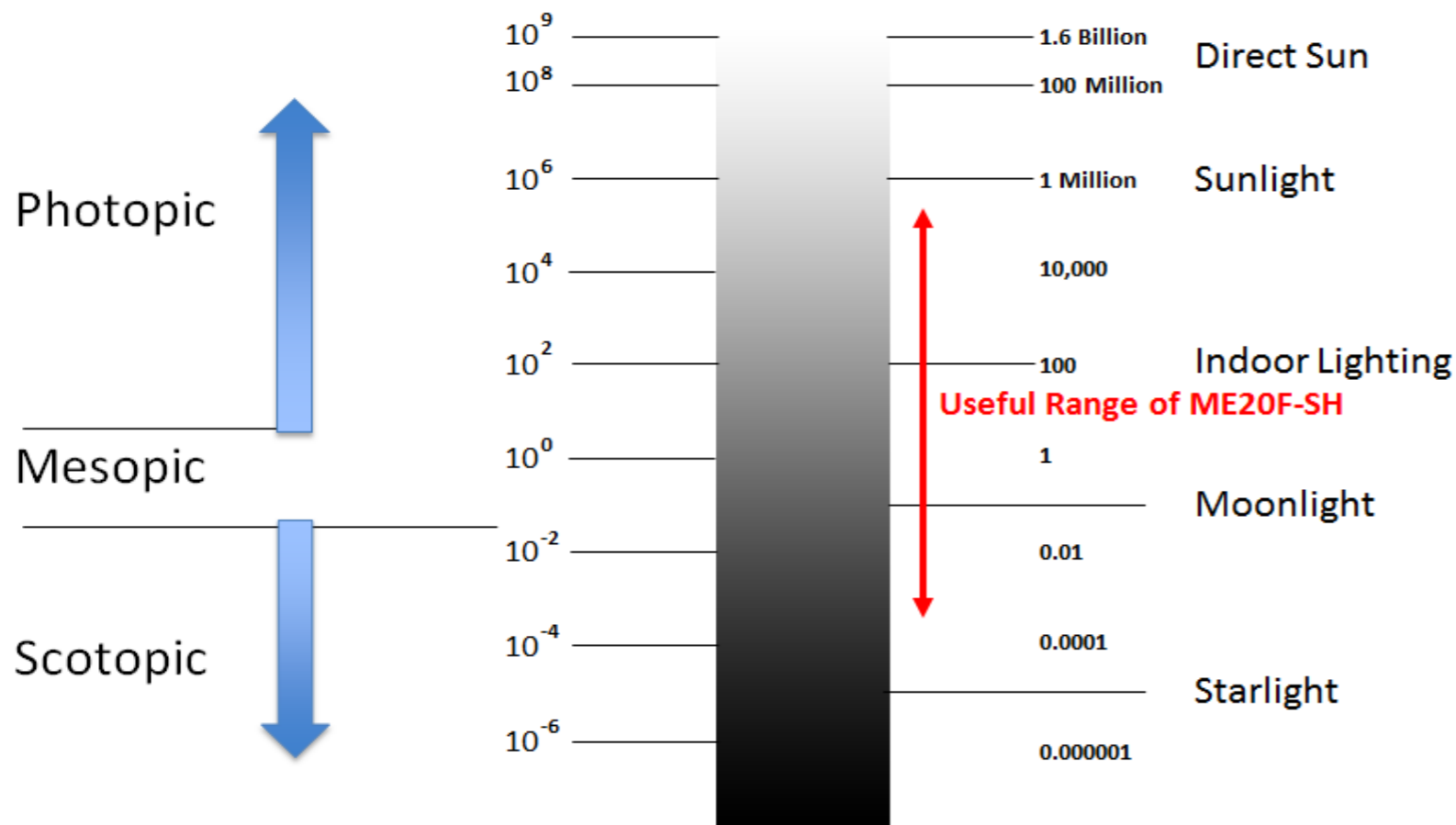


100,000 lx 10,000 lx 500 lx 100 lx 50 lx 10 lx 0.5 lx 0.2 lx

Různé adaptační jasy a osvětlenost

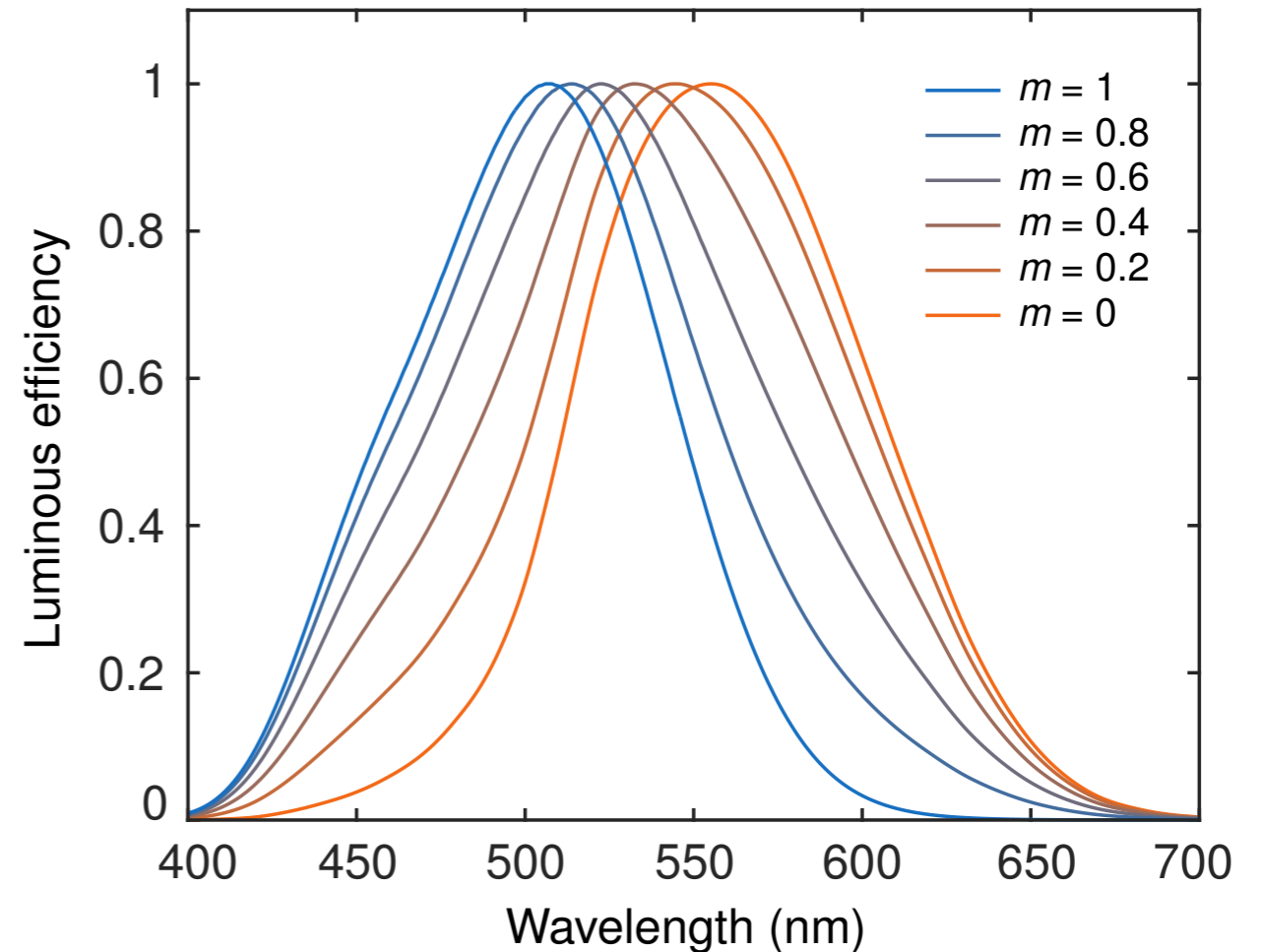
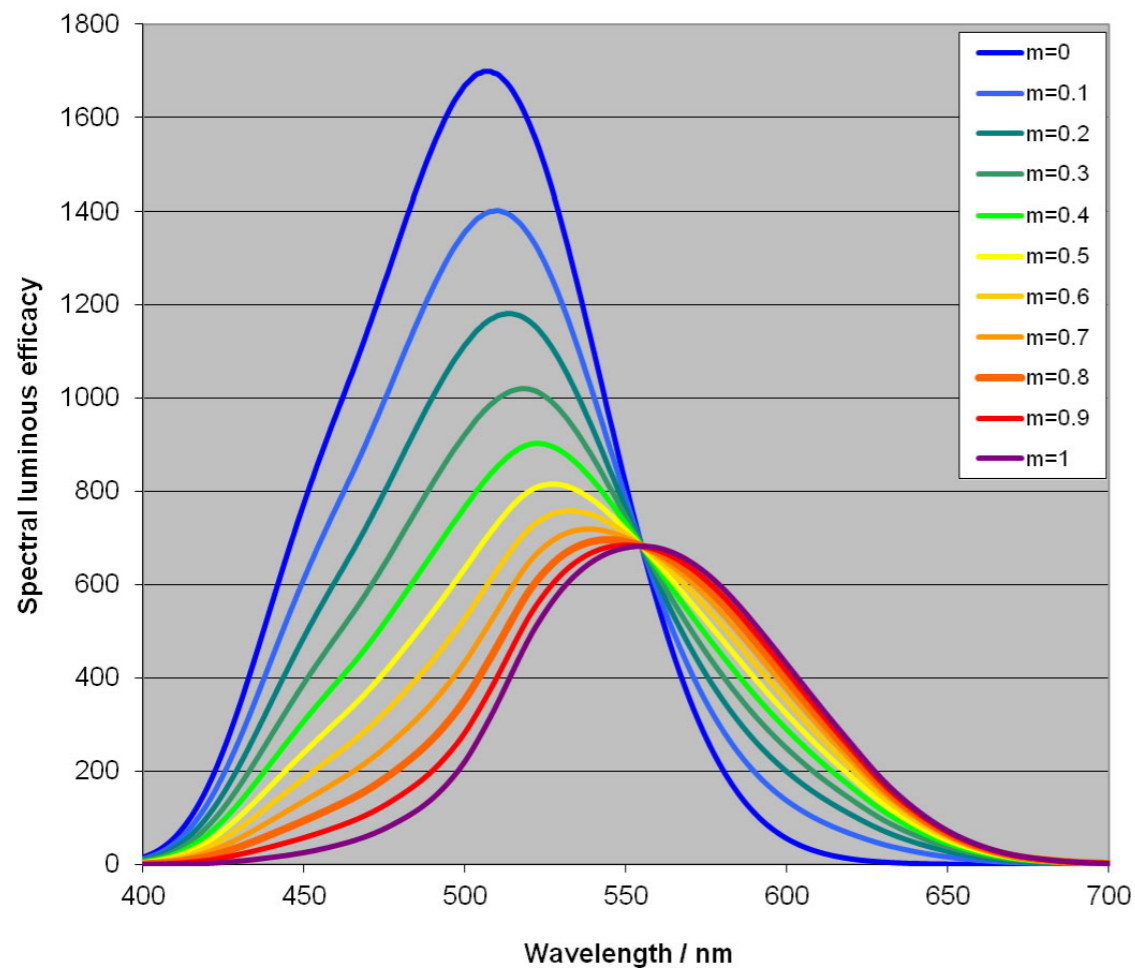


Real World Scene Illuminance (Lux)



| Light | Illuminance (Lux) |
|---------------|-------------------|
| BRIGHT SUN | 619,520 |
| HAZY SUN | 77,440 |
| BRIGHT CLOUDY | 9,680 |
| DULL CLOUDY | 4,840 |
| | 2,420 |
| | 2,000 |
| | 1,210 |
| VERY DULL DAY | 605 |
| | 303 |
| SUNSET | 151 |
| DUSK | 76 |
| | 27 |
| TWILIGHT | 9.58 |
| | 2.395 |
| MOONLIGHT | 0.5987 |
| | 0.1497 |
| DARKNESS | 0.0374 |
| | 0.0094 |
| | 0.0047 |

Mezopické křivky absolutní a poměrné světelné účinnosti

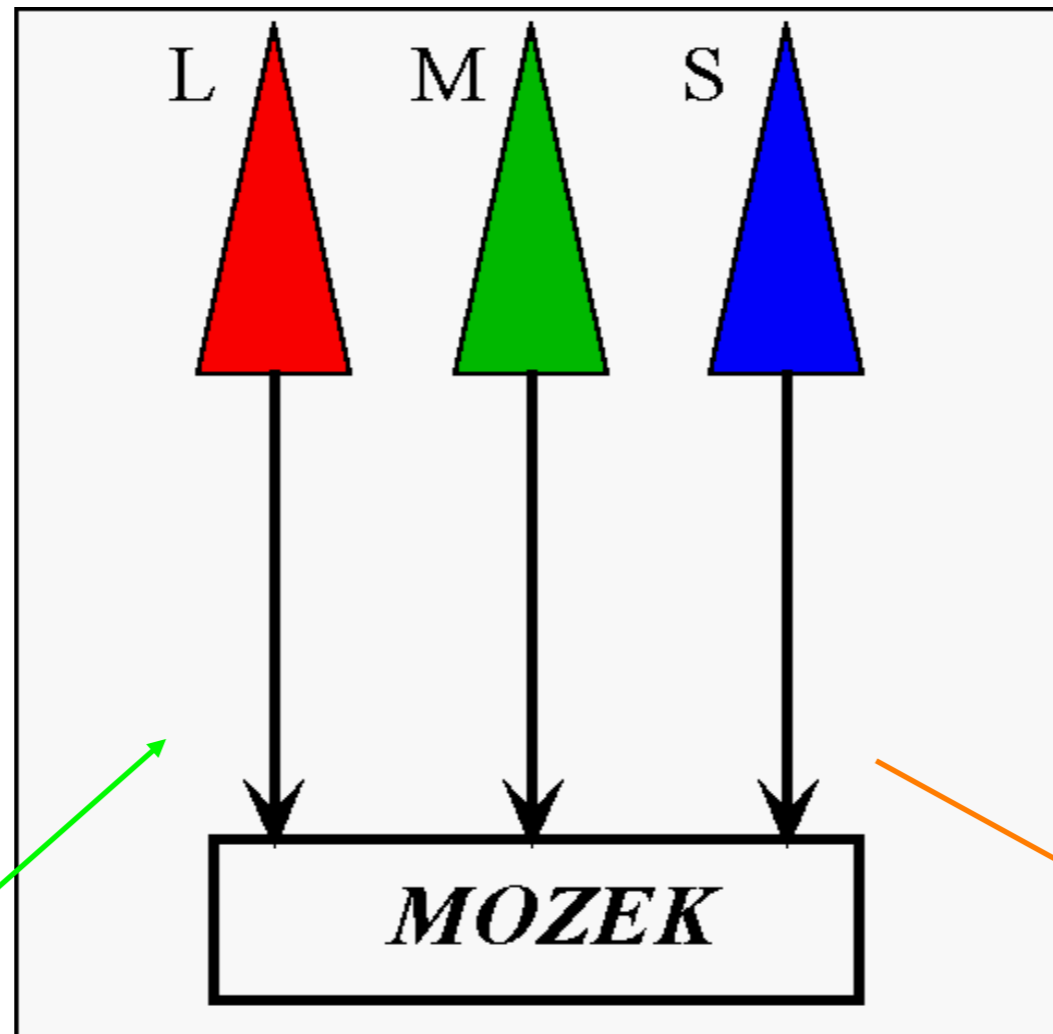


$$V_{\text{mes}}(\lambda) = \frac{1}{M(m)} [mV(\lambda) + (1 - m)V'(\lambda)]$$

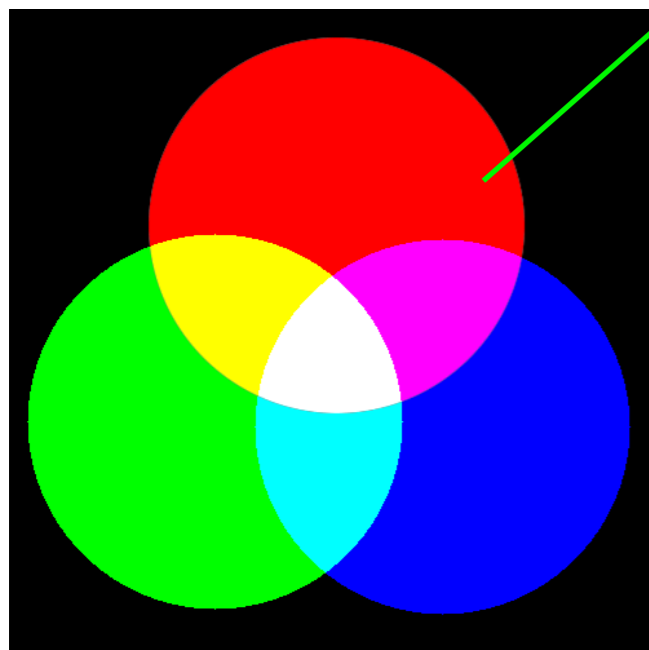
Young-Helmholtzův model vnímání barev



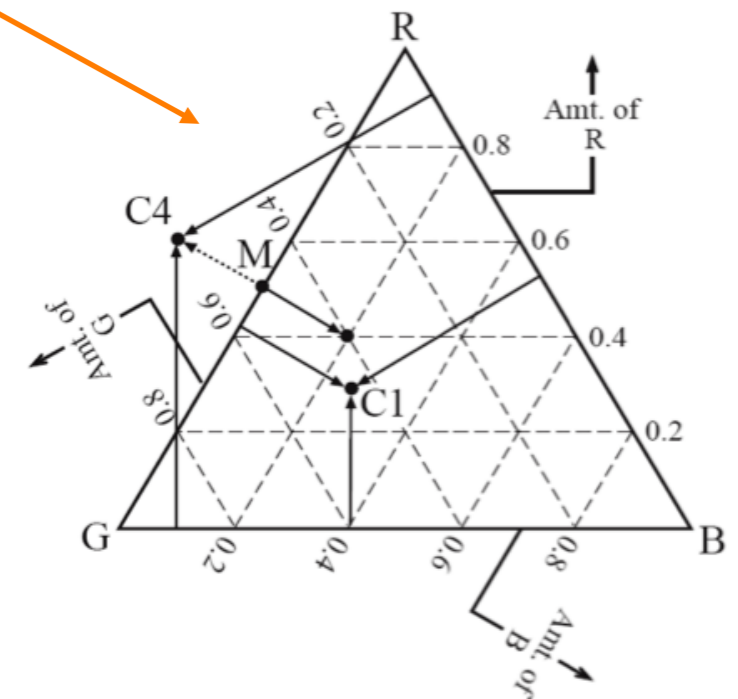
Thomas Young
1773-1829



Hermann von Helmholtz
1821-1894

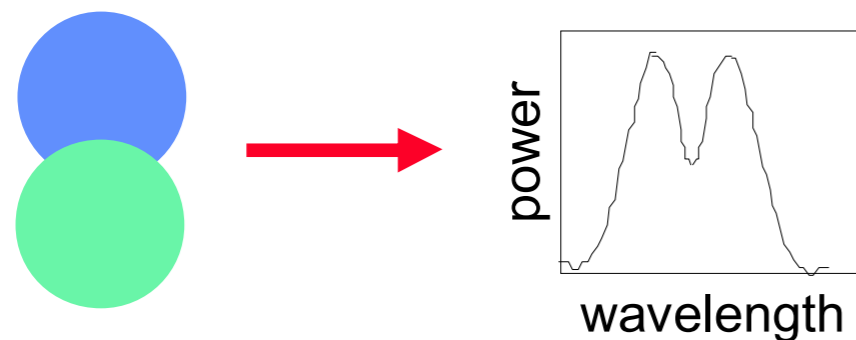
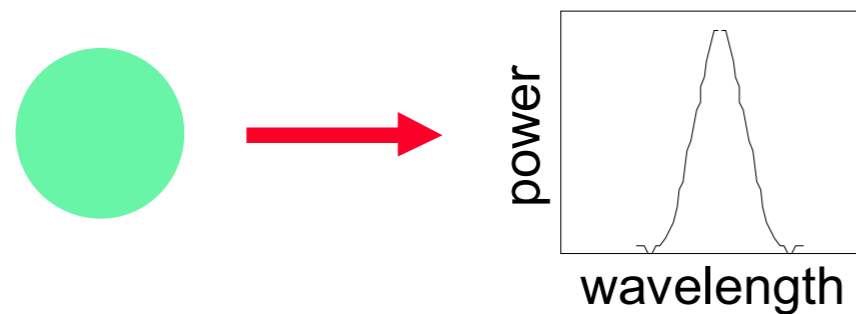
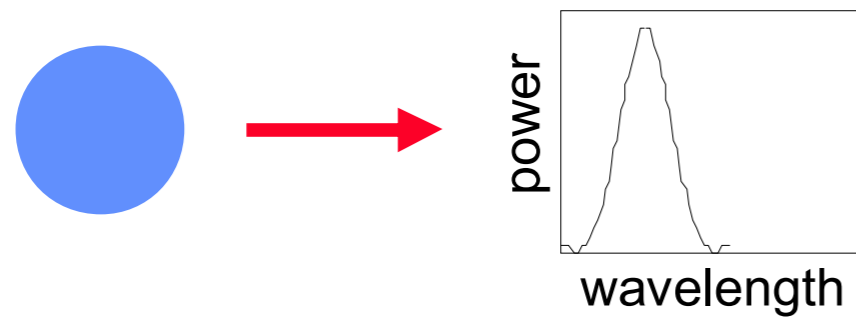


Thomas Young
*“Pro vjem všech barev stačí pouze
několik fotoreceptorů s různou
spektrální citlivostí..”*



Lze použít matematiku pro popis barvy?

Superpozice



$$(\mathbf{A+B}) = (\mathbf{A}) + (\mathbf{B})$$

**Barva není skalární veličina,
ale vektor !!!**

Grassmannovy zákony

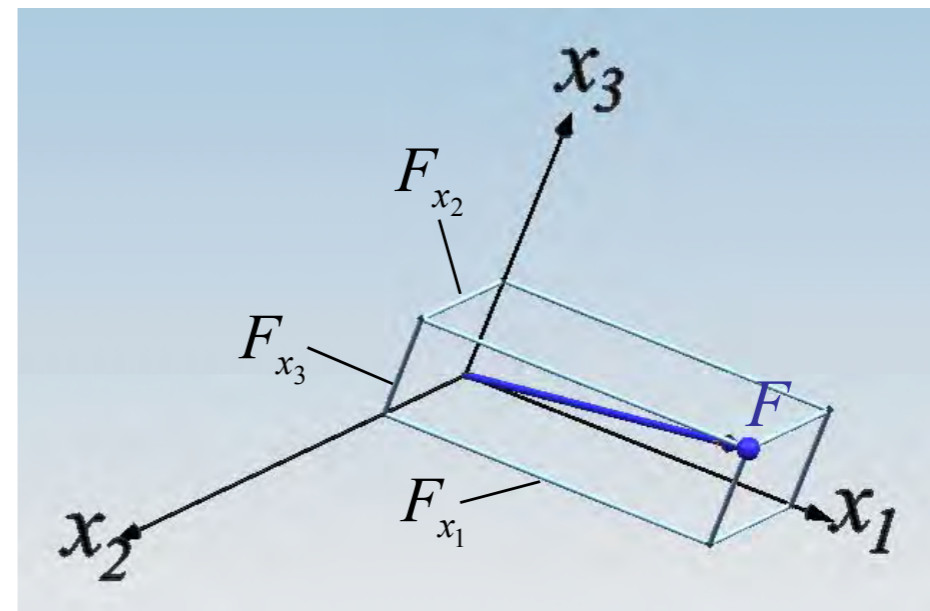
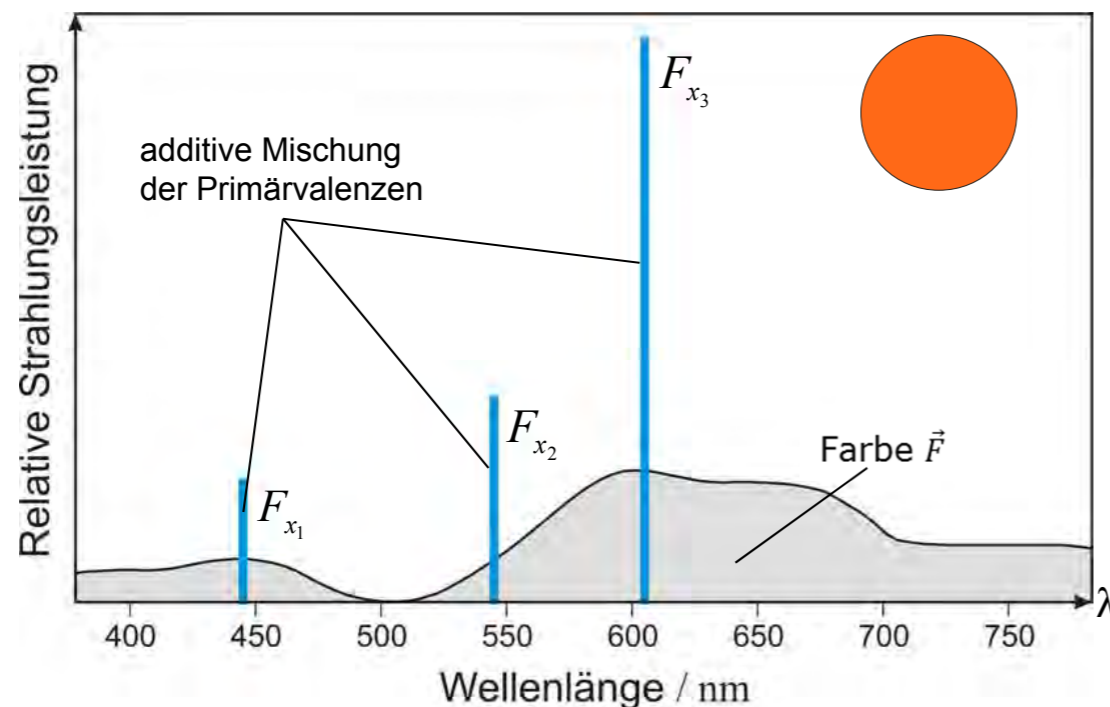
Zákon Symetrie : Jestliže $\mathbf{A} = \mathbf{B}$ pak platí, že $\mathbf{B} = \mathbf{A}$ (1)

Zákon Transitivity : Jestliže $\mathbf{A} = \mathbf{B}$ a $\mathbf{B} = \mathbf{C}$ pak platí, že $\mathbf{A} = \mathbf{C}$ (2)

Zákon Proporcionality : Jestliže $\mathbf{A} = \mathbf{B}$ pak platí, že $k\mathbf{A} = k\mathbf{B}$ (3)

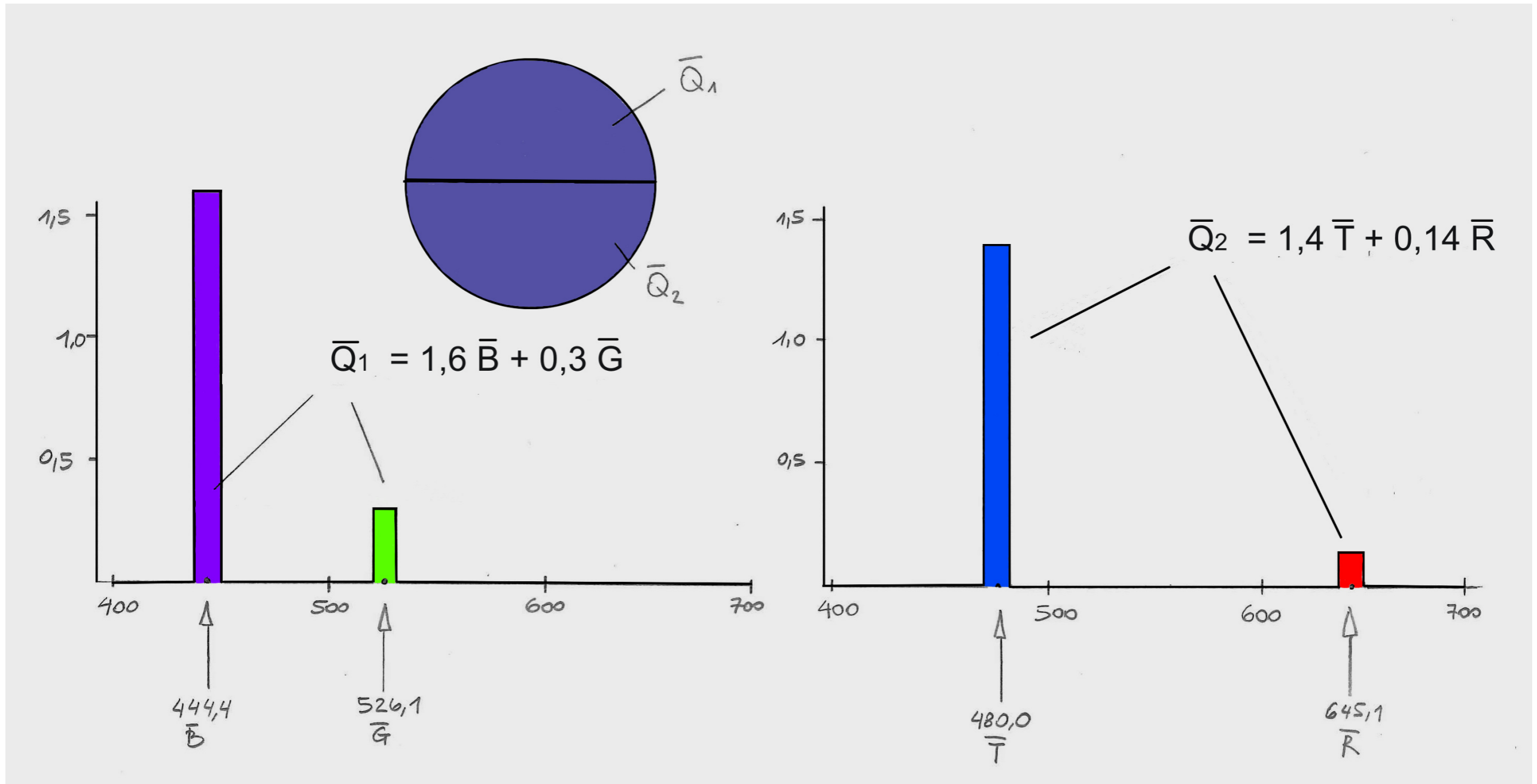
Zákon Aditivity : Jestliže $\mathbf{A} = \mathbf{B}$ a $\mathbf{C} = \mathbf{D}$ pak platí, že $\mathbf{A} + \mathbf{C} = \mathbf{B} + \mathbf{D}$ (4)

Jestliže $\mathbf{A} = \mathbf{B}$ a $\mathbf{A} + \mathbf{C} = \mathbf{B} + \mathbf{D}$ pak platí, že $\mathbf{C} = \mathbf{D}$ (5)



$$\vec{F} = F_{x_1} \cdot \vec{x}_1 + F_{x_2} \cdot \vec{x}_2 + F_{x_3} \cdot \vec{x}_3$$

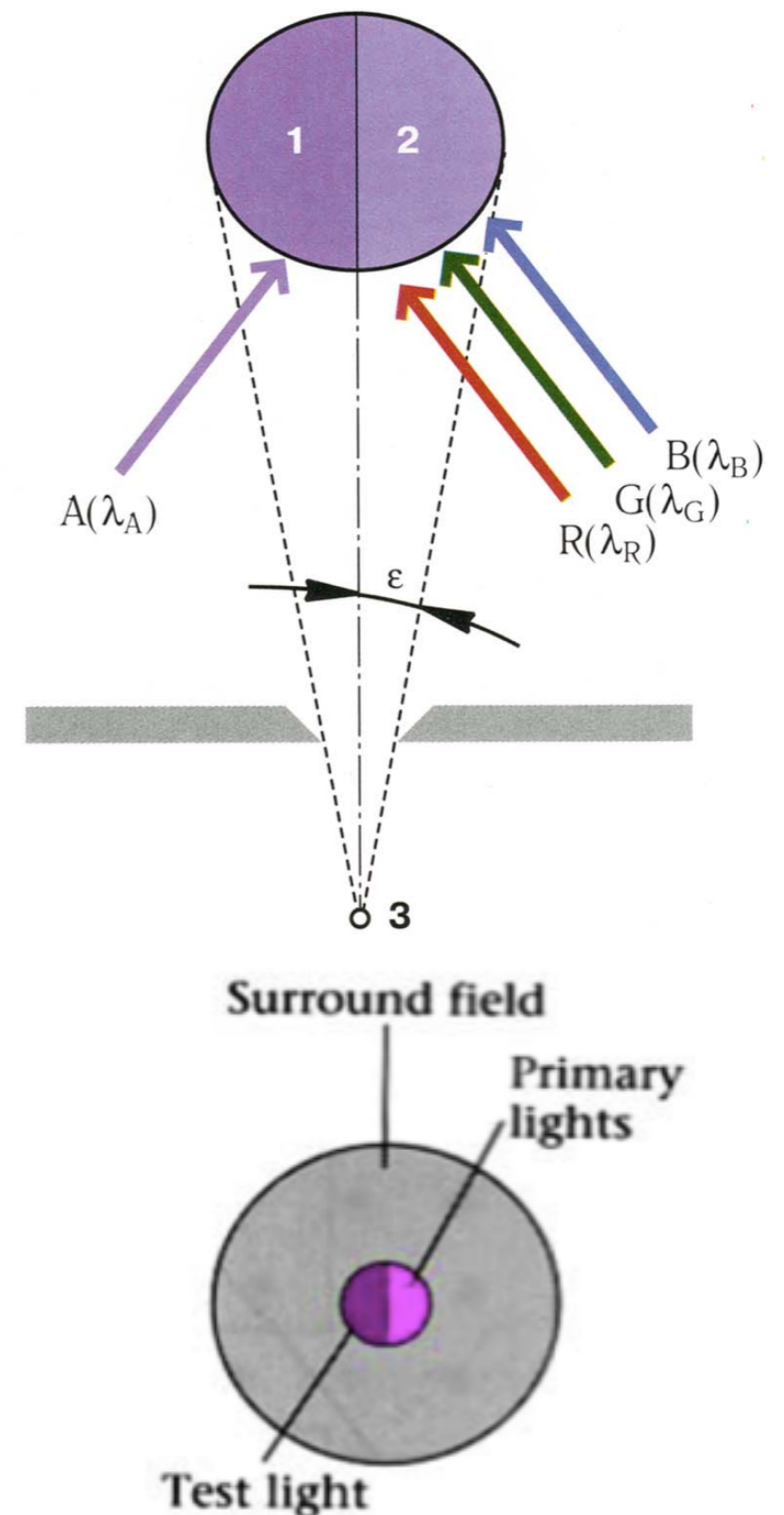
Experimenty barevného vyrovnání



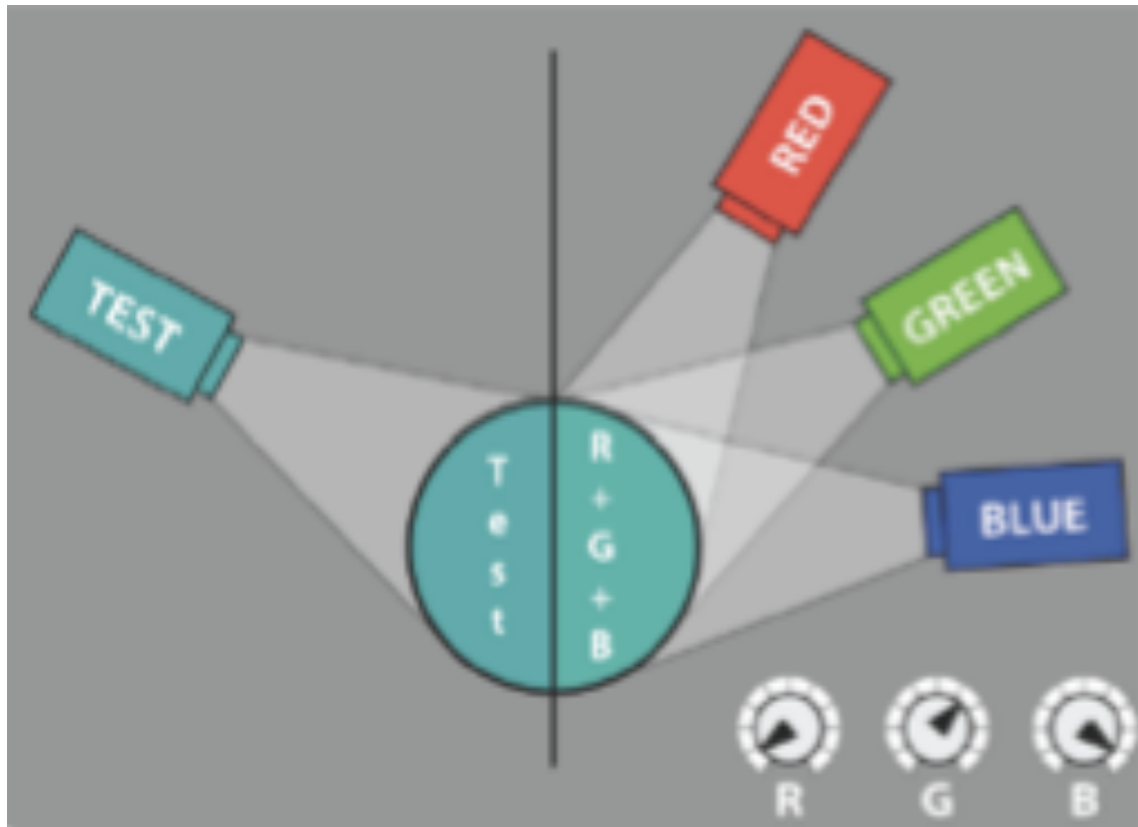
Wright - Guildův experiment I

Úkolem bylo změřit spektrální citlivost člověka

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



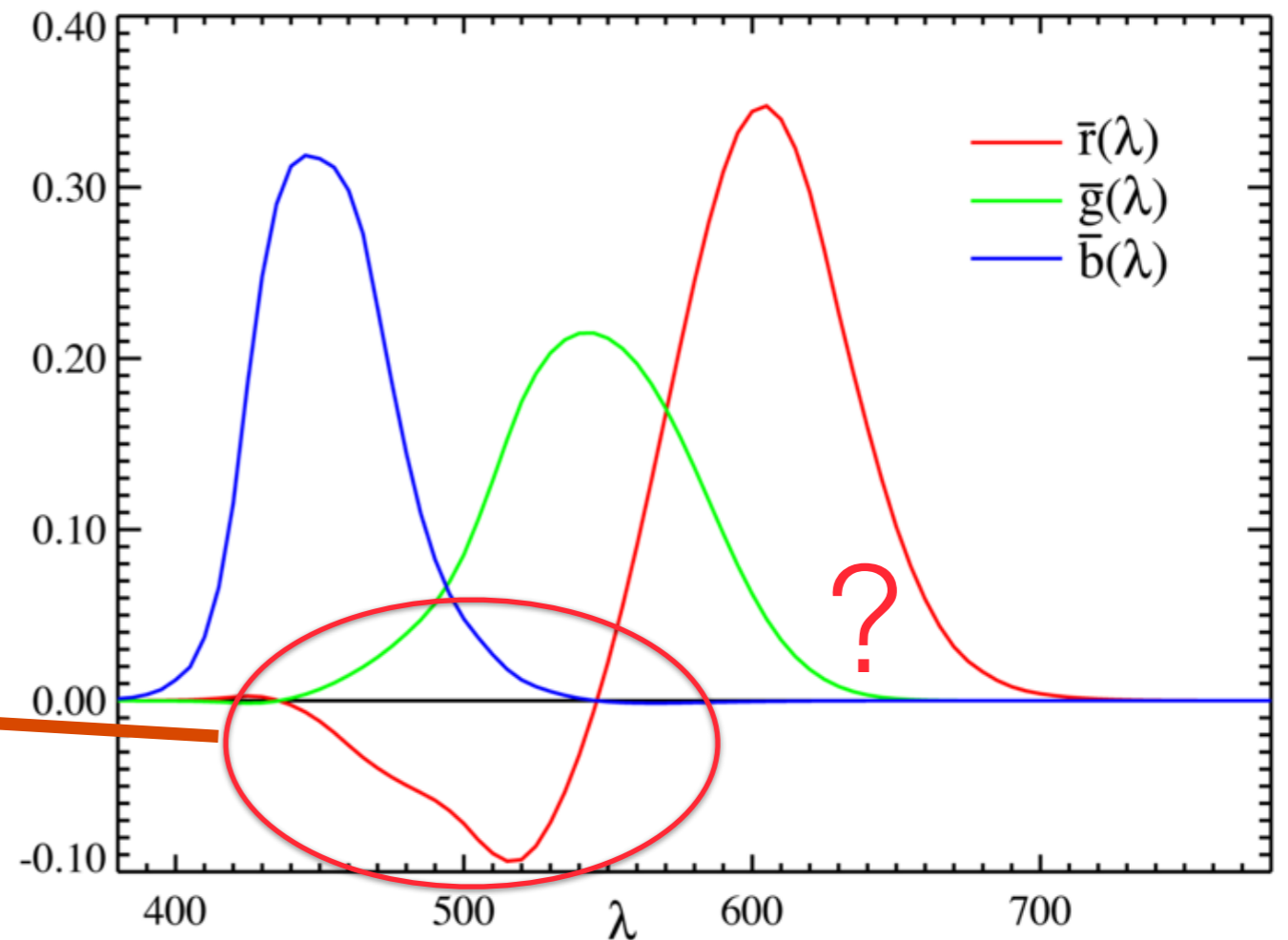
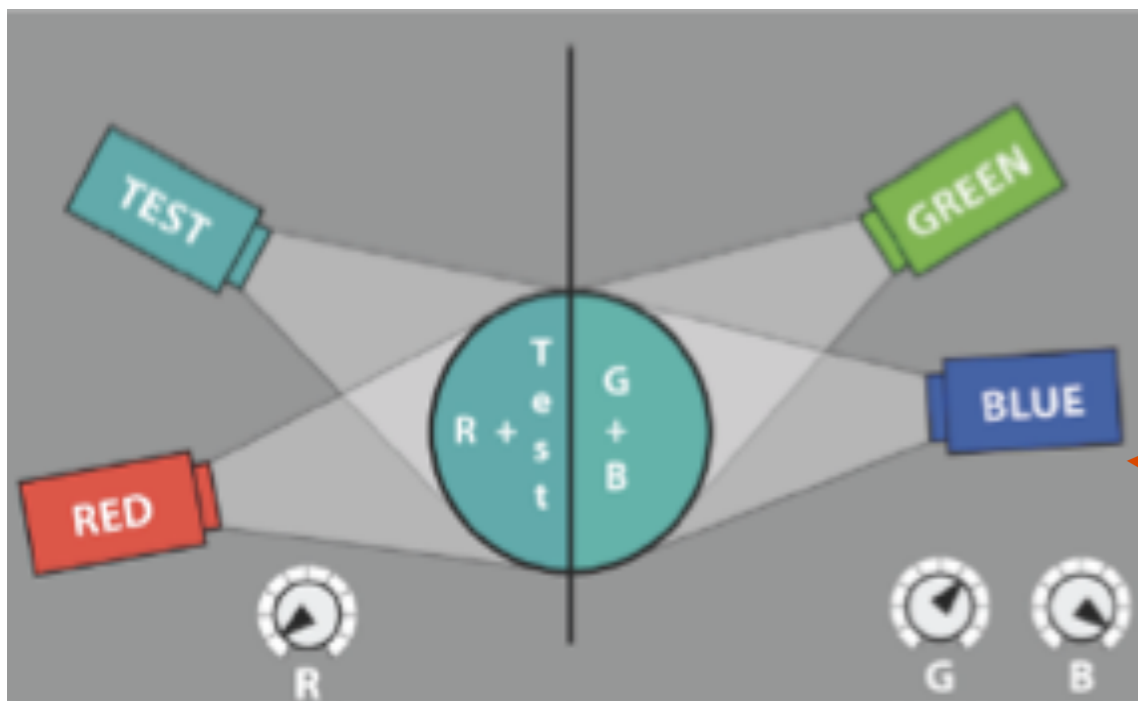
Wright - Guildov experiment II



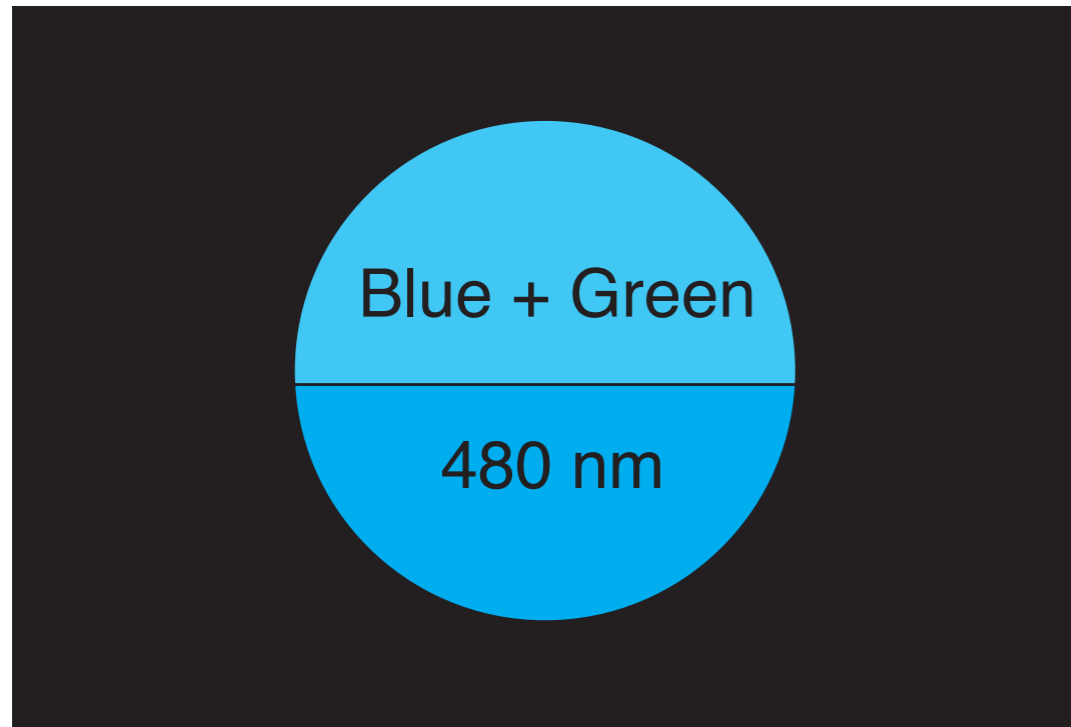
William David
Wright
1908-1998



John Guild
1889-1979



Wright - Guildův experiment III



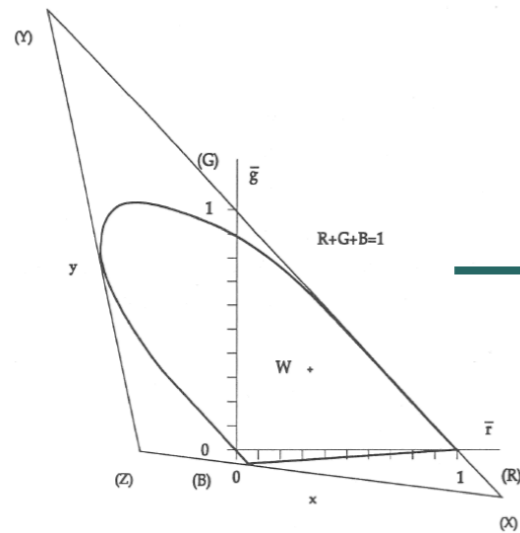
Přídavek červeného světla způsobí snížení čistoty odstínu na 480 nm, tím dojde k barevnému vyrovnání

480 nm



480 nm + Red

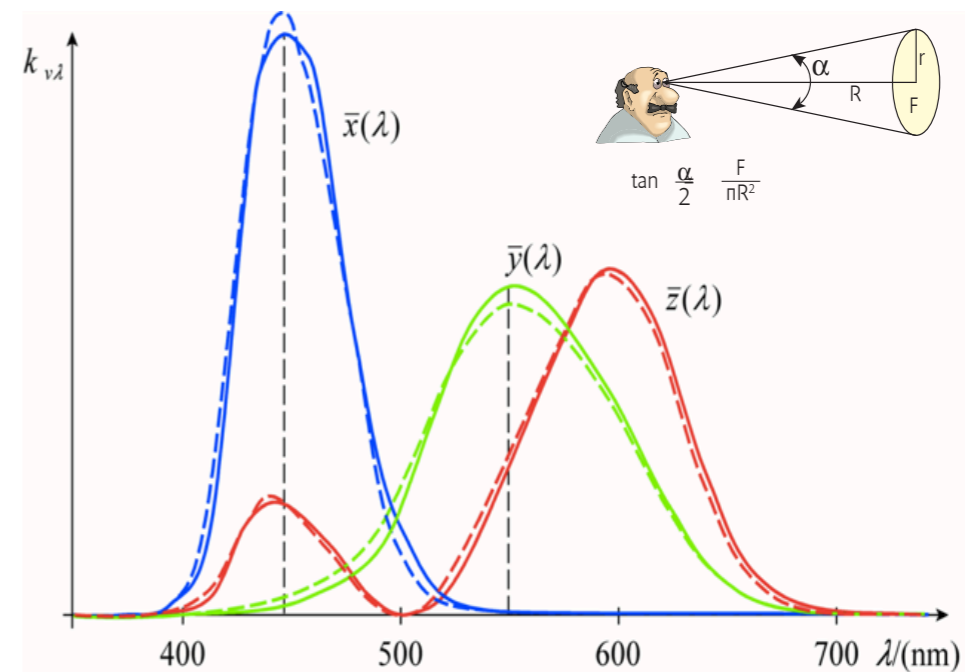
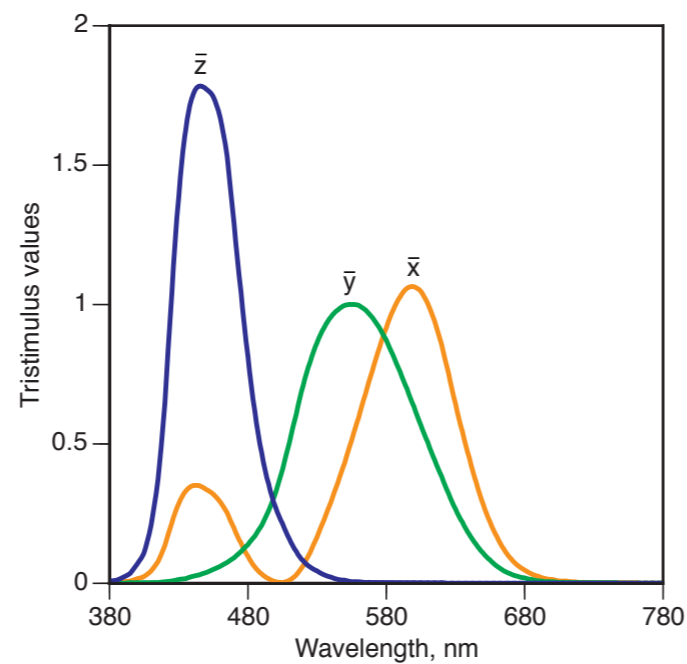
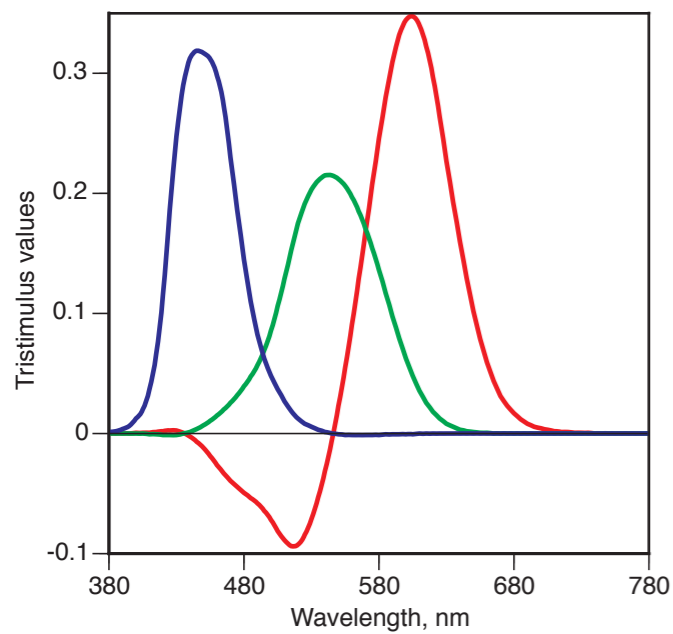
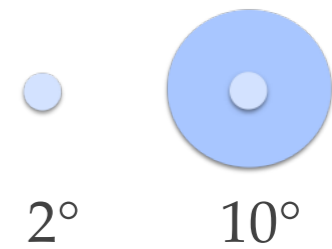
Transformace rgb do xyz



$$\begin{bmatrix} \bar{x}_{\lambda=380} & \dots & \bar{x}_{\lambda=780} \\ \bar{y}_{\lambda=380} & \dots & \bar{y}_{\lambda=780} \\ \bar{z}_{\lambda=380} & \dots & \bar{z}_{\lambda=780} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.49000 & 0.31000 & 0.20000 \\ 0.17690 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00000 & 0.01000 & 0.99000 \end{bmatrix}$$

$$\bullet \begin{bmatrix} \bar{r}_{\lambda=380} & \dots & \bar{r}_{\lambda=780} \\ \bar{g}_{\lambda=380} & \dots & \bar{g}_{\lambda=780} \\ \bar{b}_{\lambda=380} & \dots & \bar{b}_{\lambda=780} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{\lambda=380} \\ \dots \\ n_{\lambda=780} \end{bmatrix}$$

$$n_{\lambda} = V_{\lambda} / \left[0.17690\bar{r}_{\lambda} + 0.81240\bar{g}_{\lambda} + 0.01063\bar{b}_{\lambda} \right]$$



Kolorimetrická soustava CIE XYZ - 1931 I

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

E_{λ} je činitel poměrného spektrálního složení světelného zdroje, podle vlnové délky

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

R_{λ} je spektrální činitel odrazu, podle vlnové délky

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

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

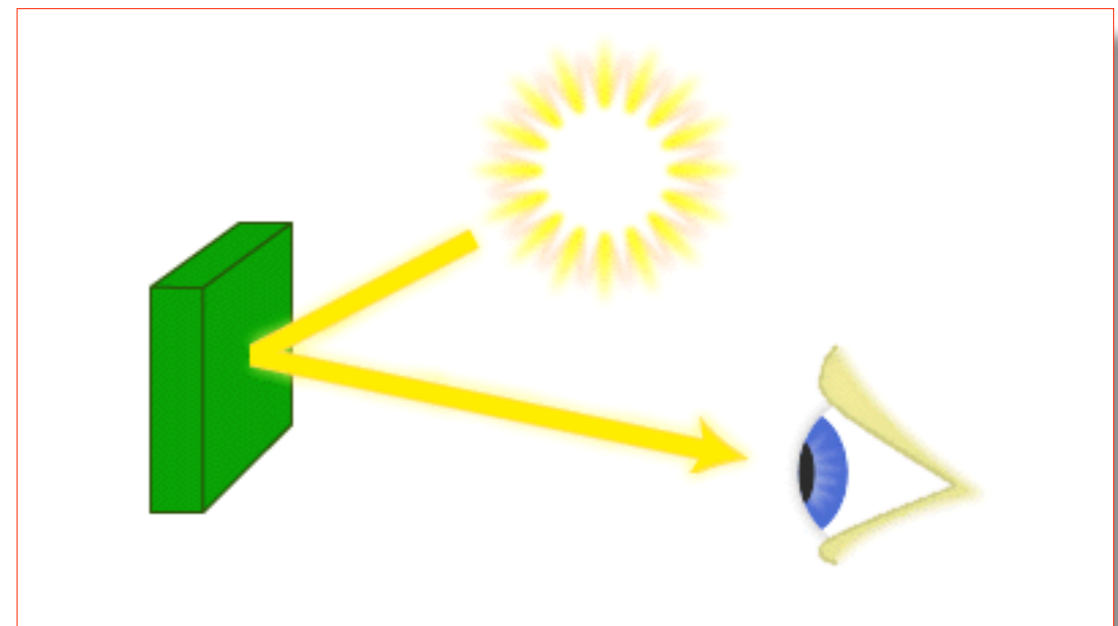
k je normalizační faktor, který je dán rovnicí :

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

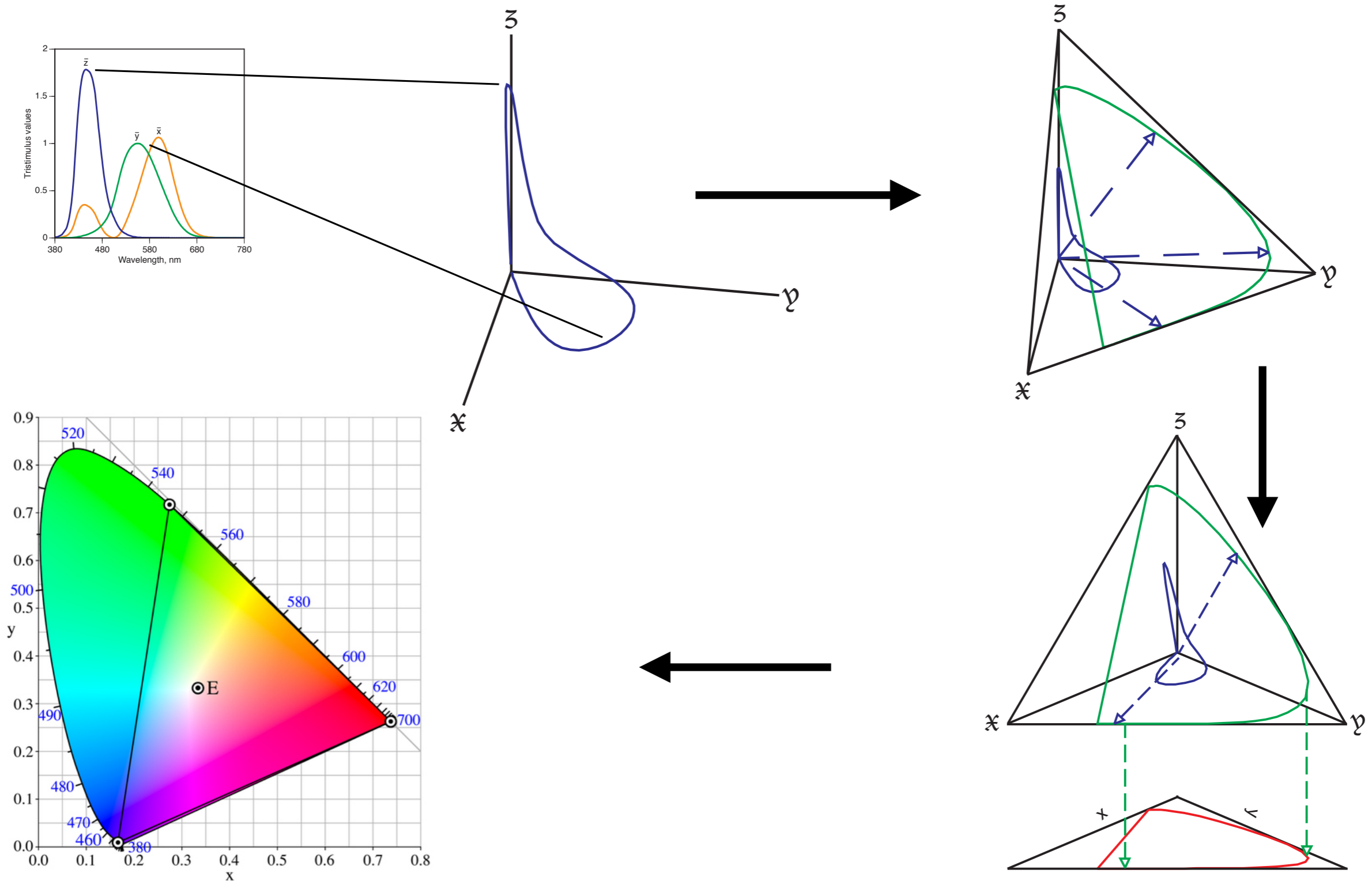
$$X = \sum E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \Delta\lambda$$

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

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



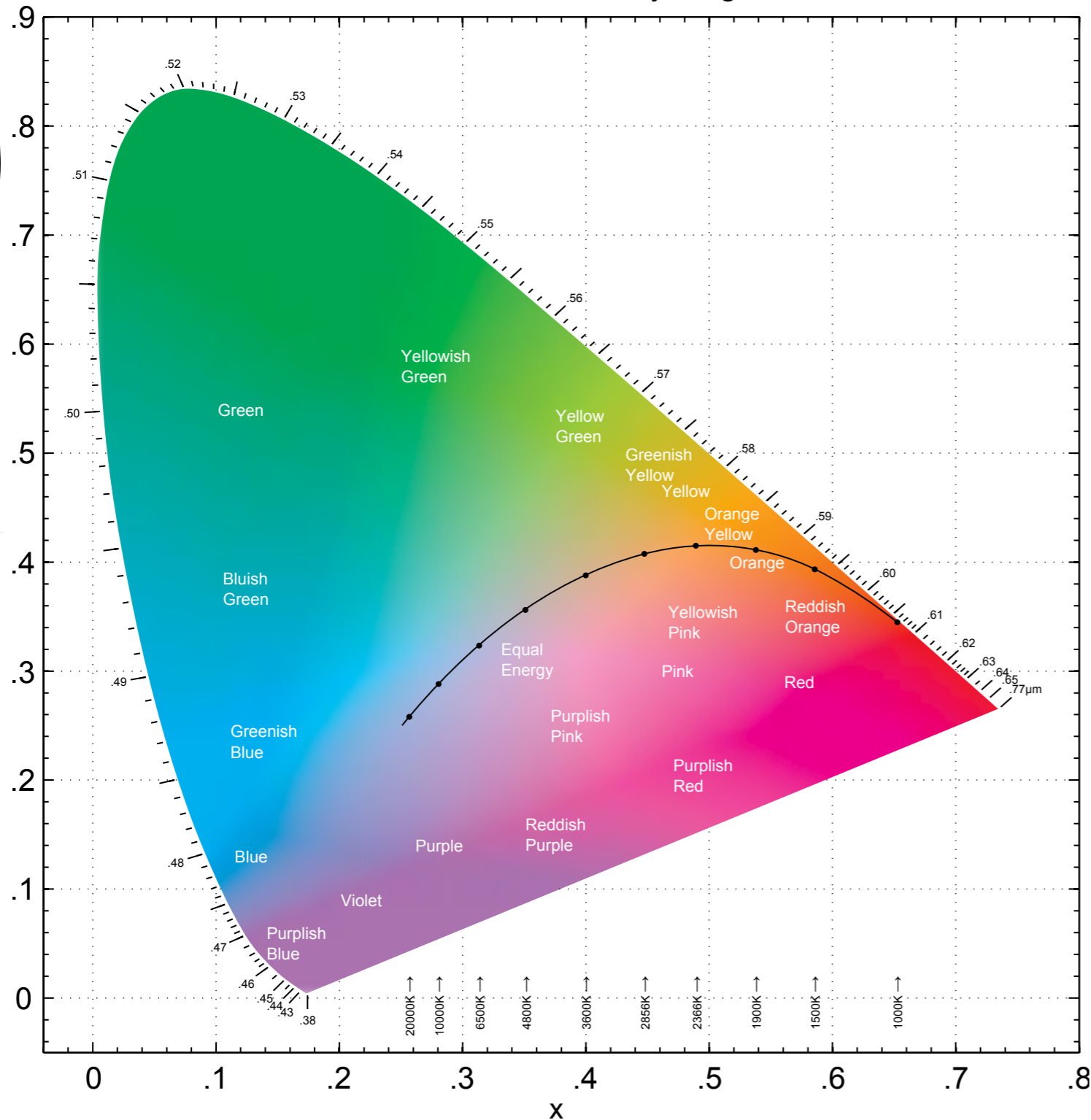
Projekce



Pro snazší pochopení je používána pravoúhlá projekce

Kolorimetrický trojúhelník CIE x,y

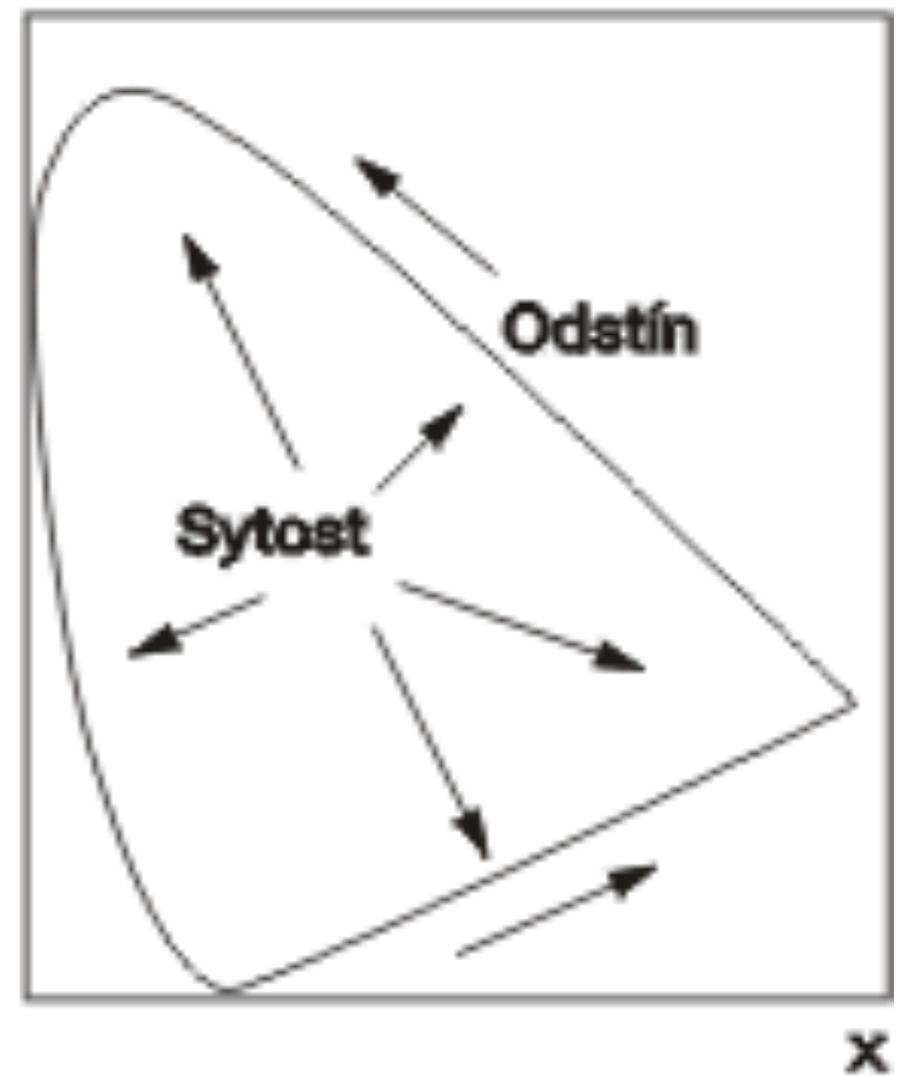
C.I.E. 1931 Chromaticity Diagram



$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

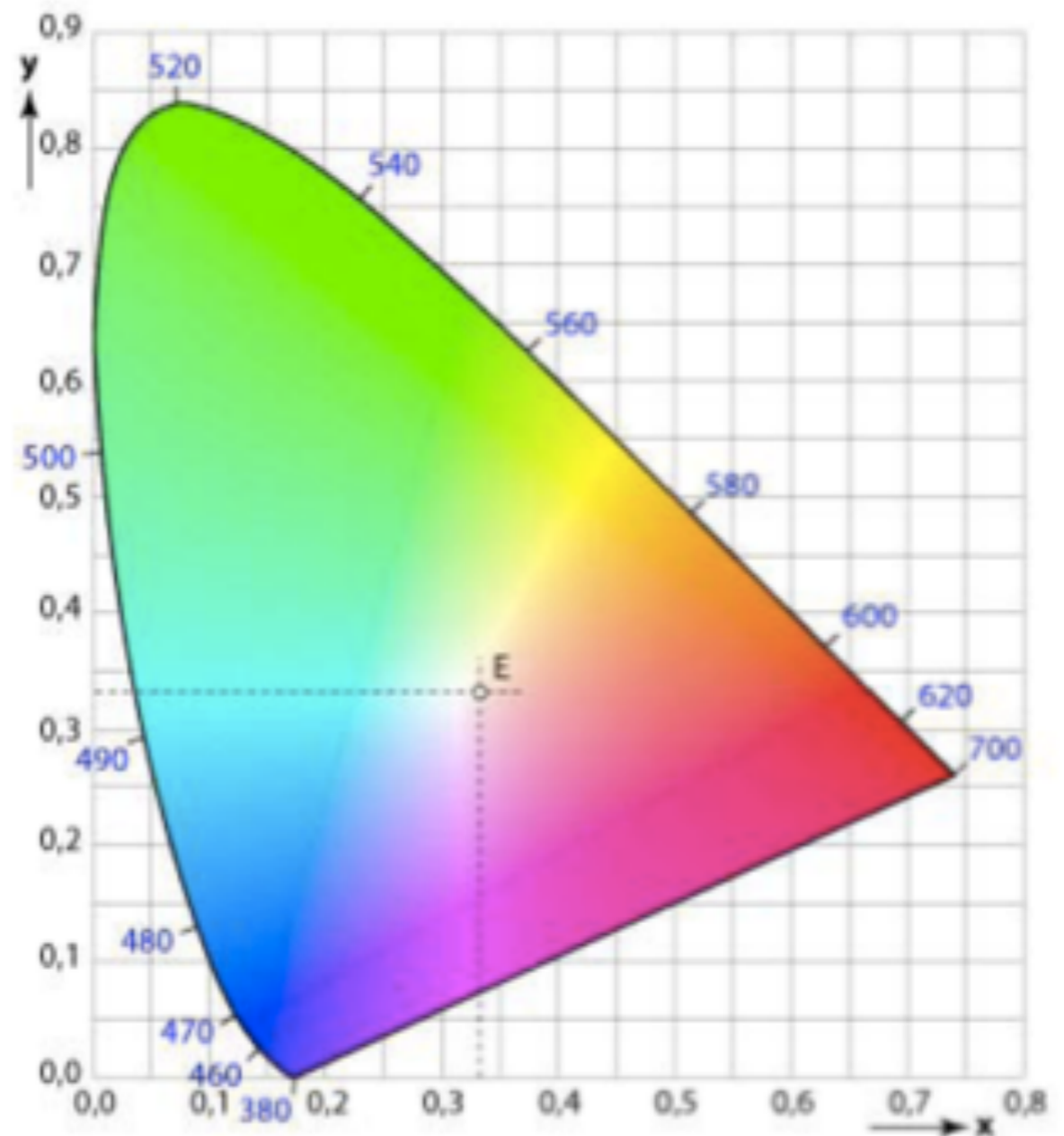
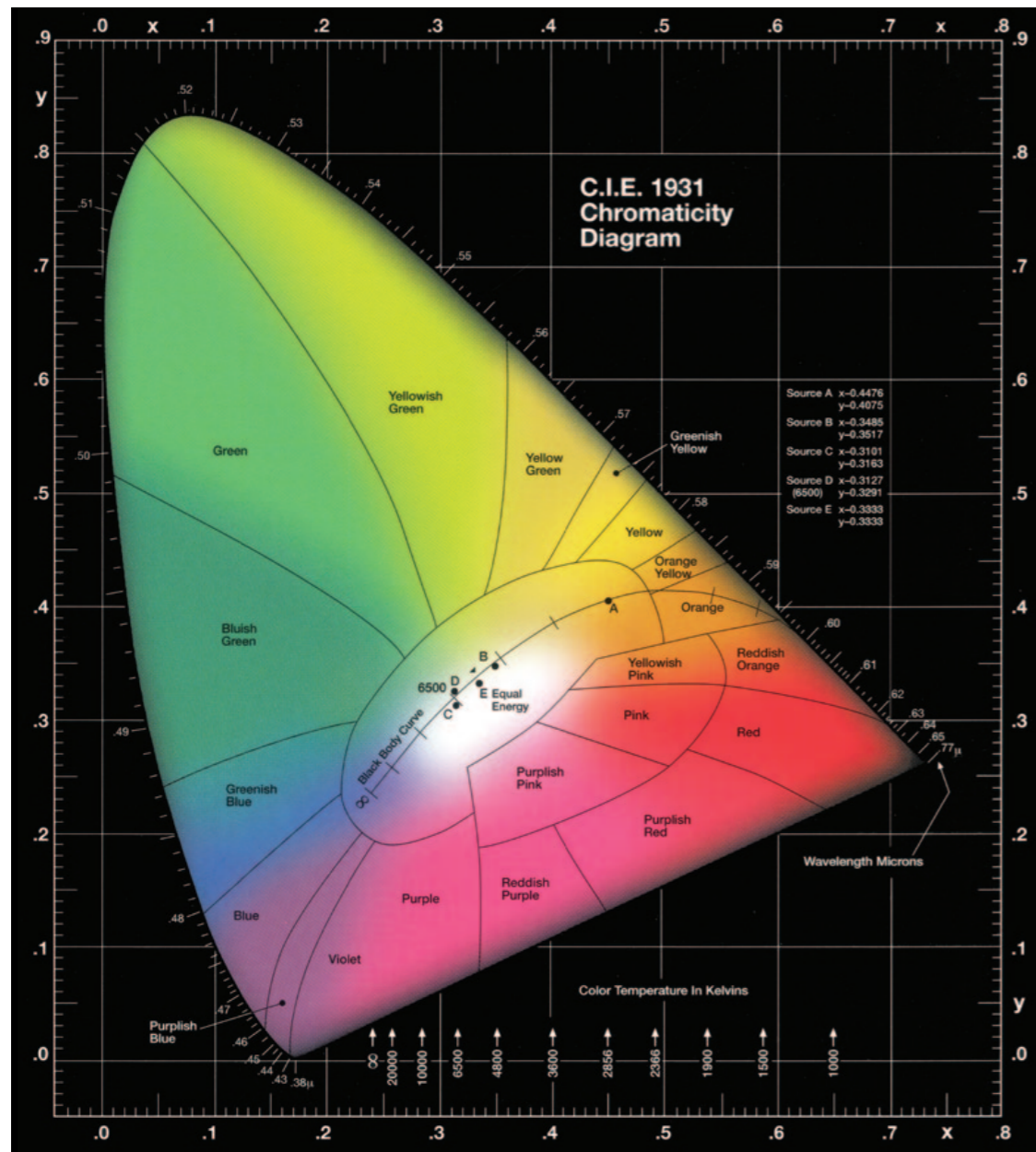
$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$x + y + z = 1$$

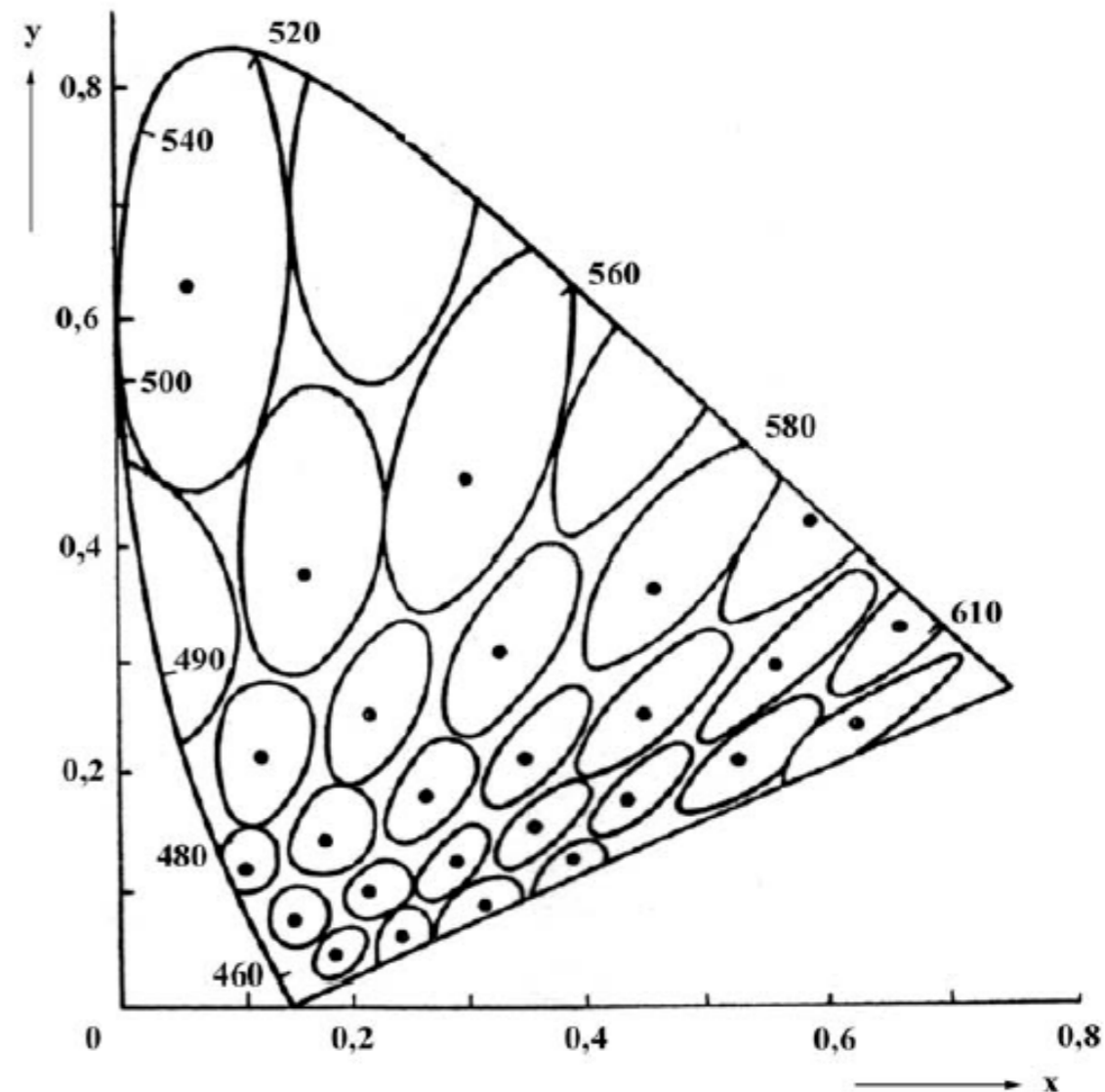
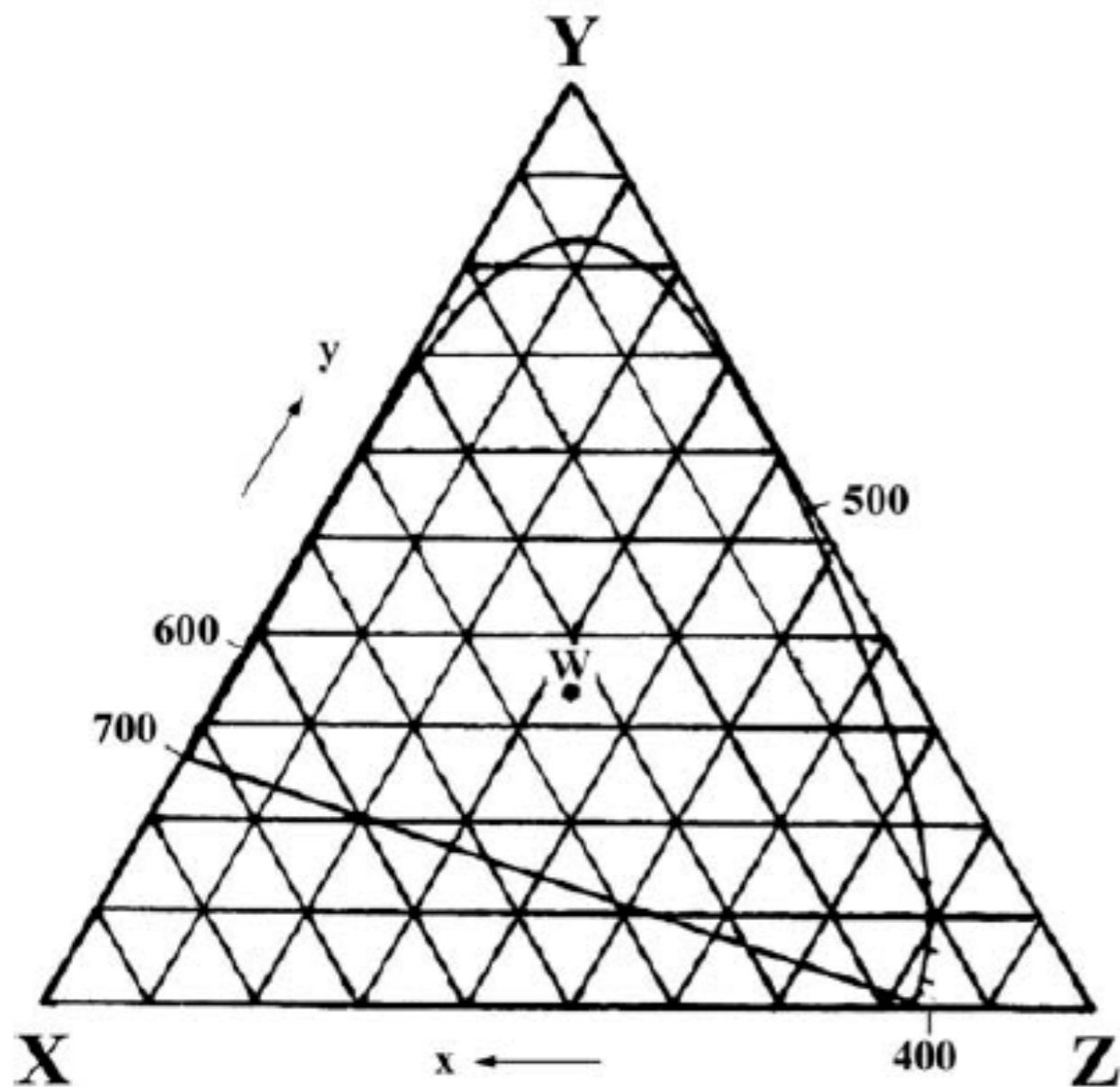


Kolorimetrický trojúhelník CIE x,y

Který je správný ?



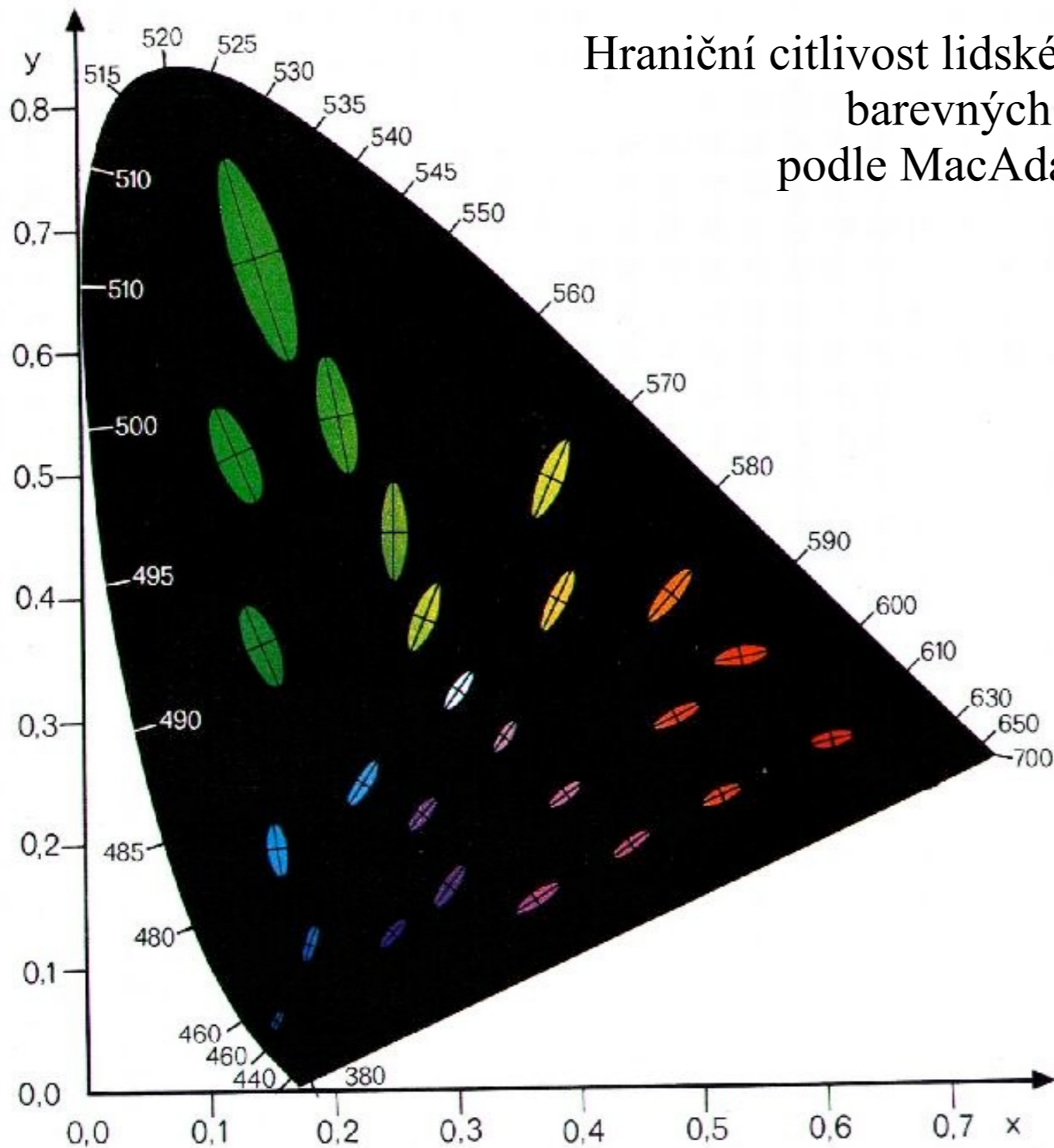
Barevné rozdíly v CIE x,y kolorimetrickém trojúhelníku I



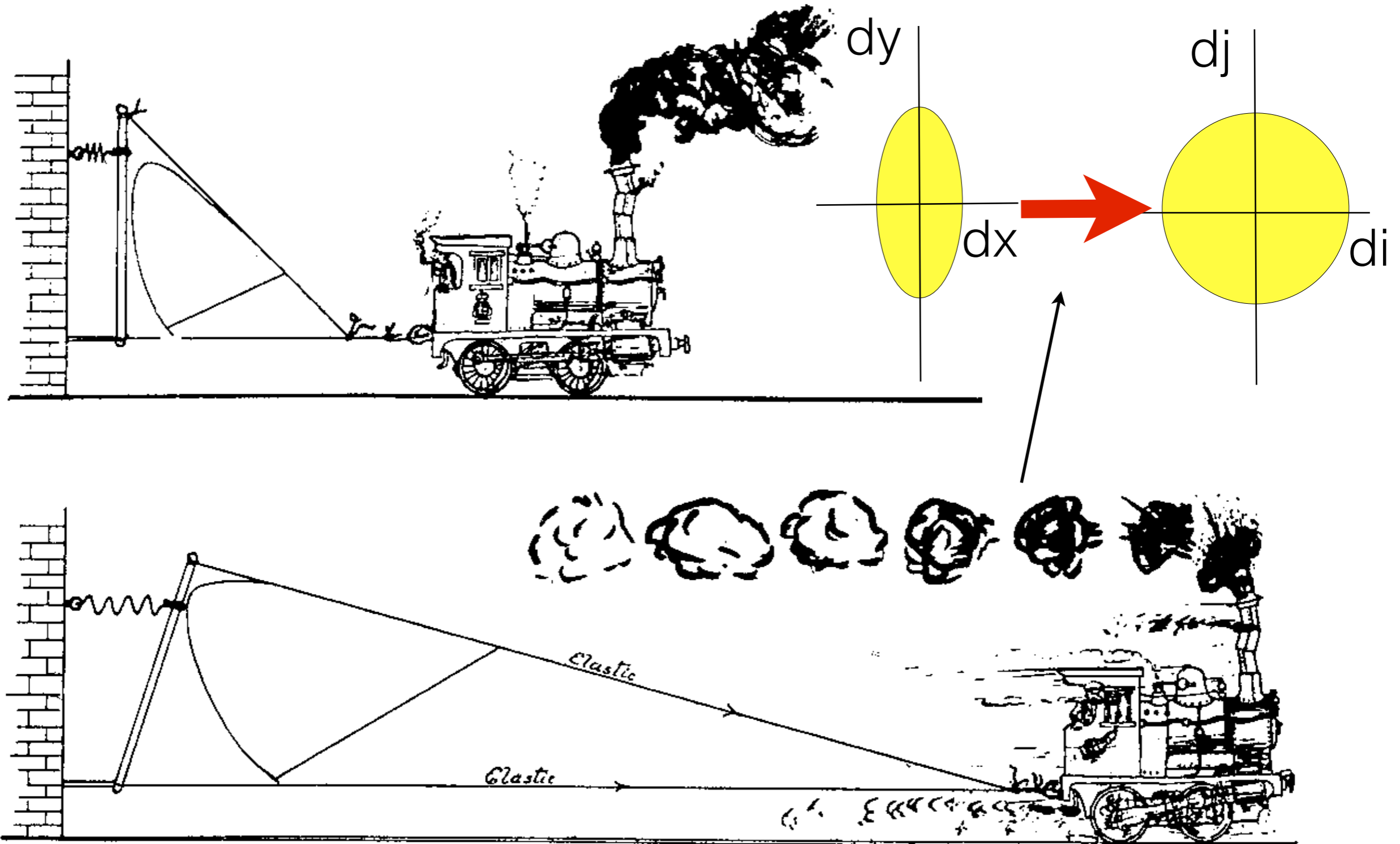
Obr. č. 3 Juddovy vizuálně jednotné elipsy v CIE xy diagramu

Barevné rozdíly v CIE x,y kolorimetrickém trojúhelníku II

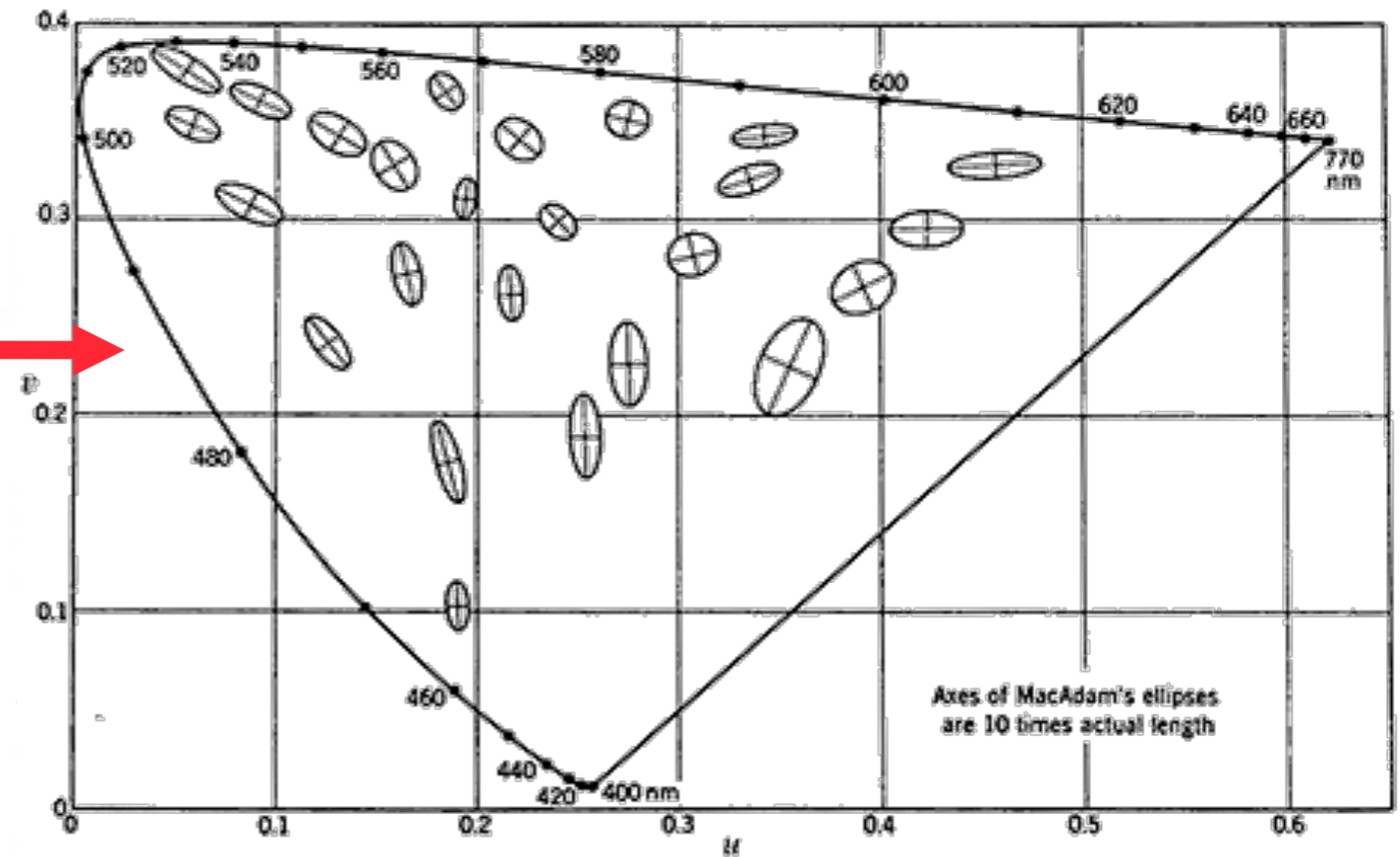
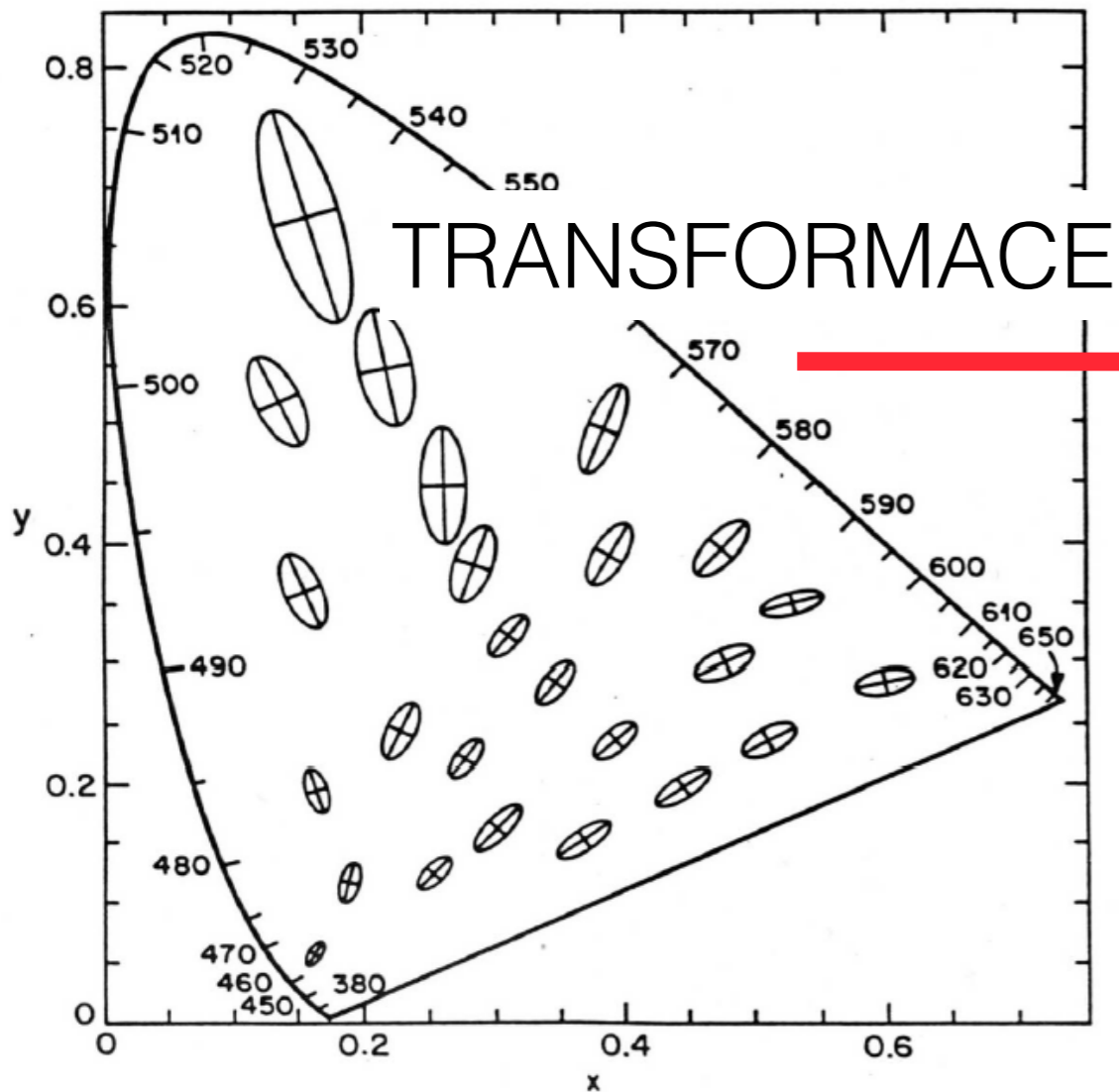
Hraniční citlivost lidského oka k posuzování
barevných rozdílů
podle MacAdama - 1942



Jak udělat vizuálně rovnoměrně odstupňovanou soustavu ?



Vizuálně rovnoměrná kolorimetrická soustava - UCS



(b) $u-v$ chromaticity diagram

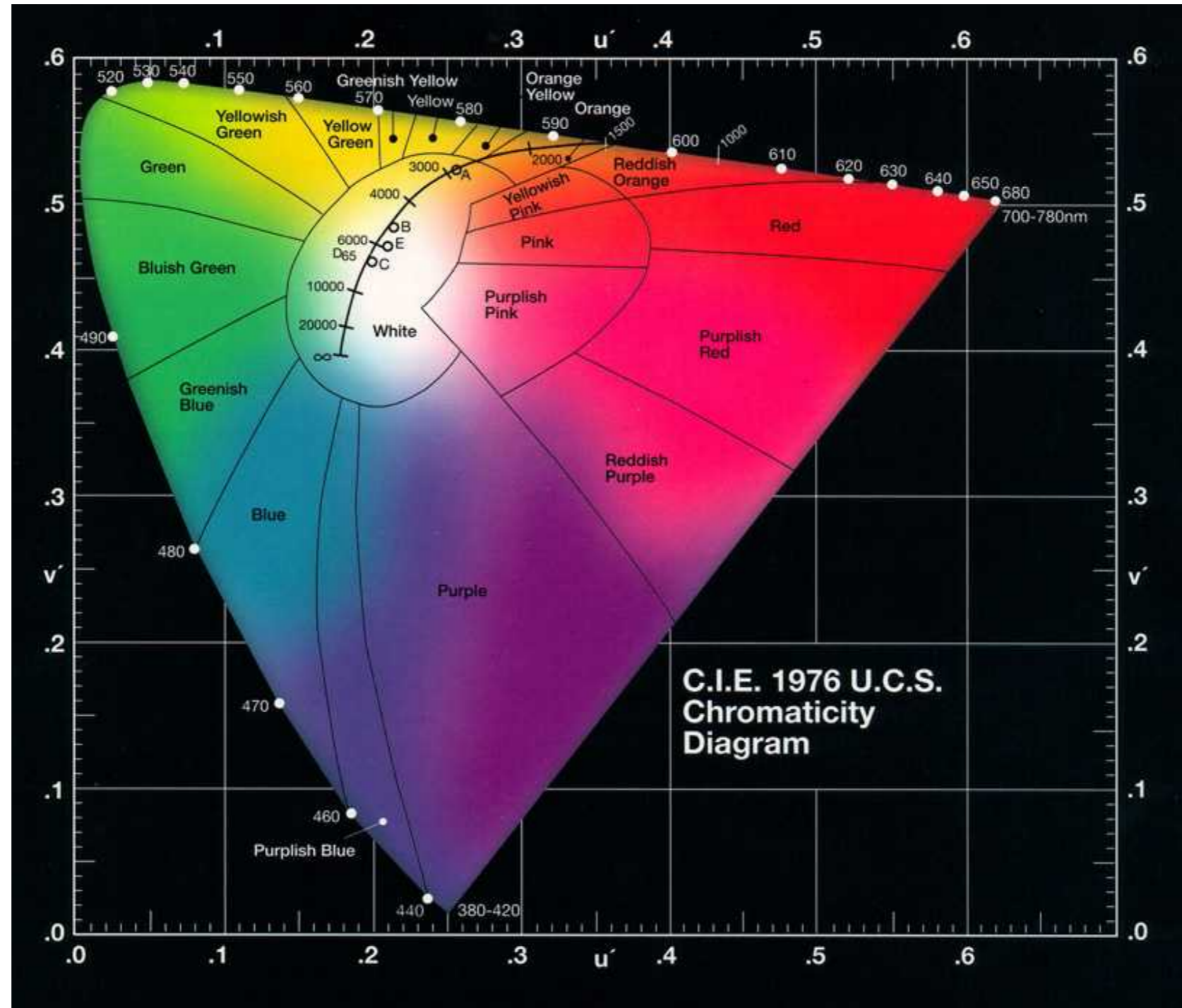
FIGURE 3.7-2. MacAdam's ellipses of just noticeable color differences in XYZ and UVW coordinate systems (39). Axes of ellipses are 10 times actual length.

Lineární transformace:

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

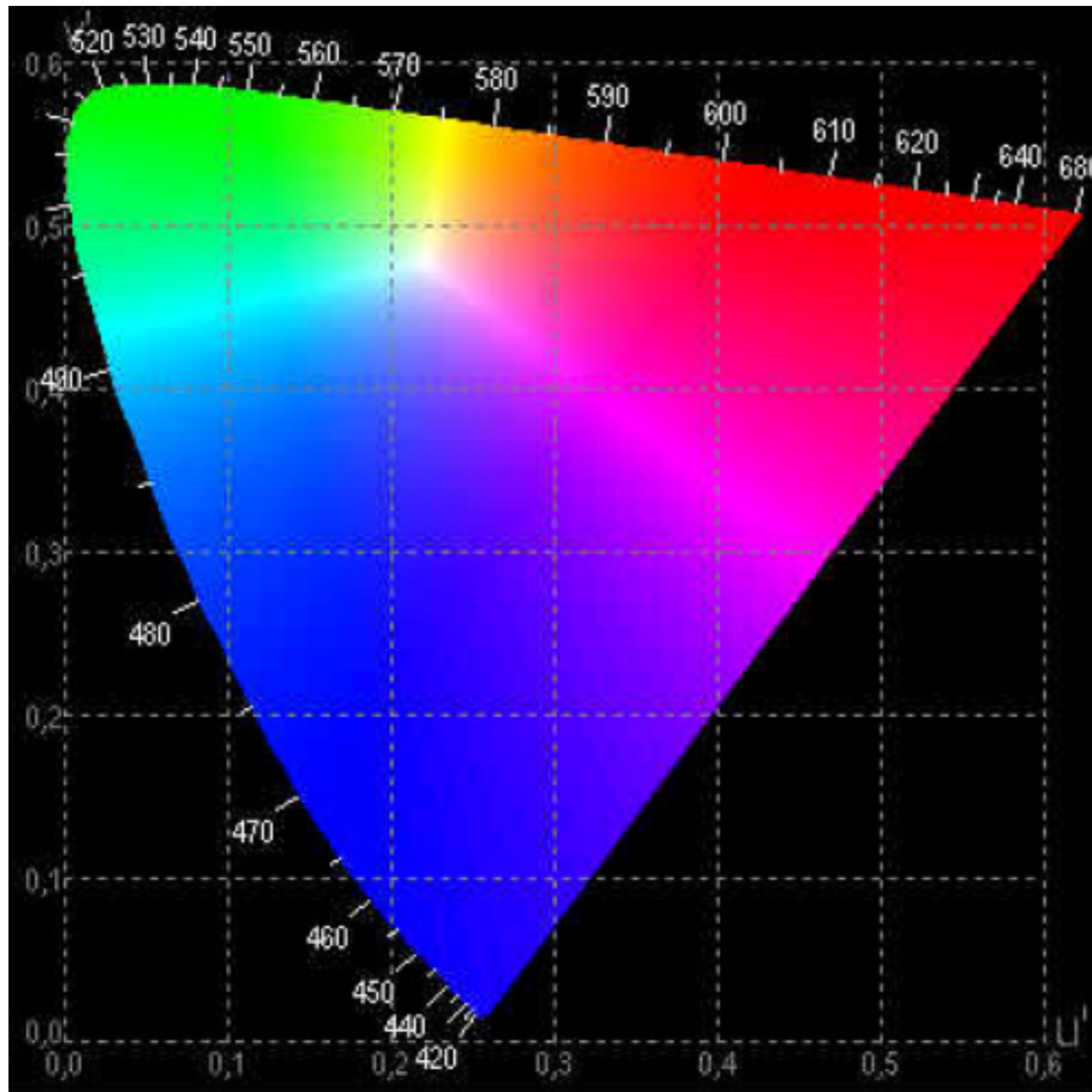
$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

Kolorimetrická soustava CIE L*u*v*

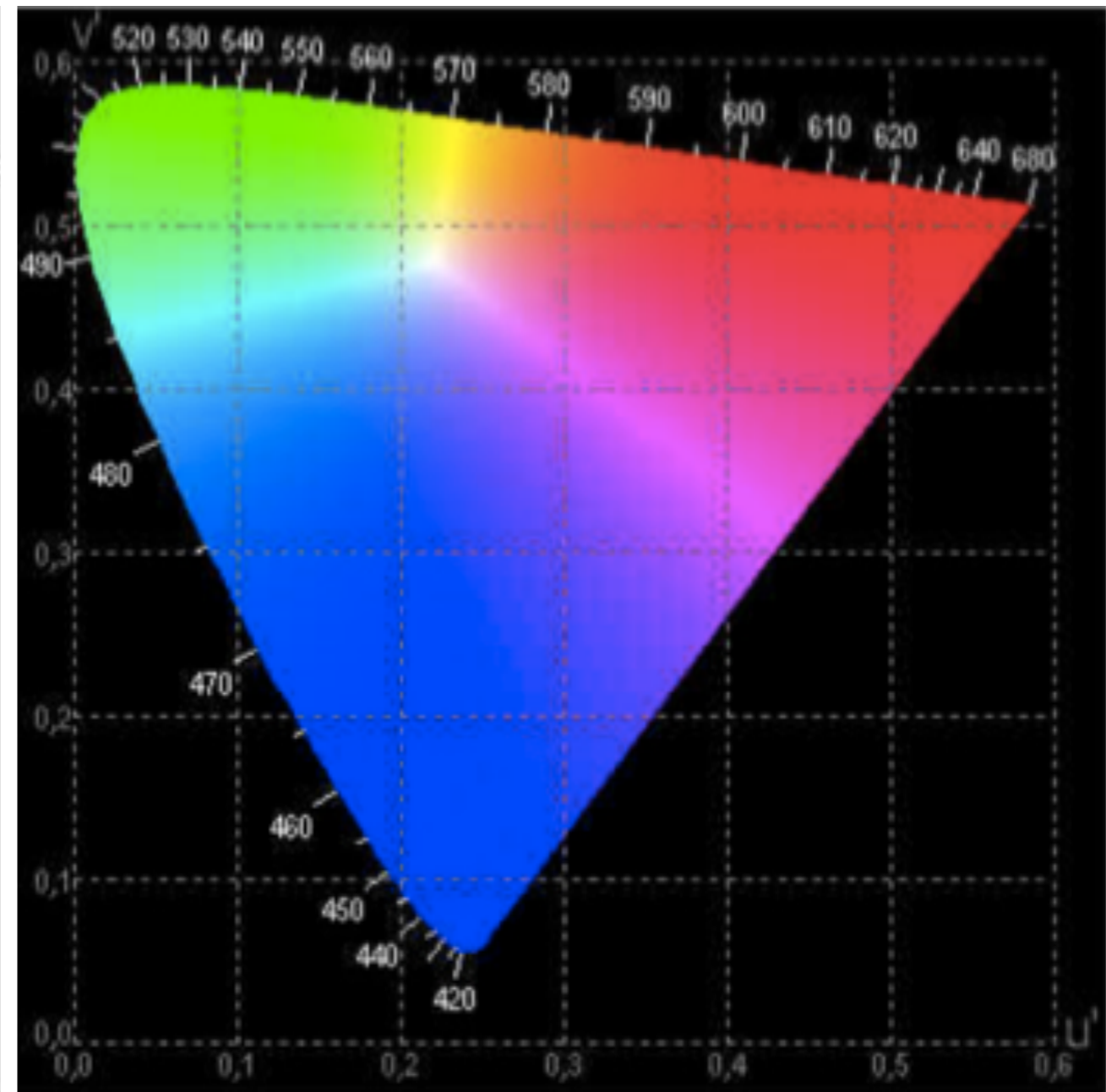


$$u^* = 13L^* (u' - u_0); \quad v^* = 13L^* (v' - v_0)$$

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

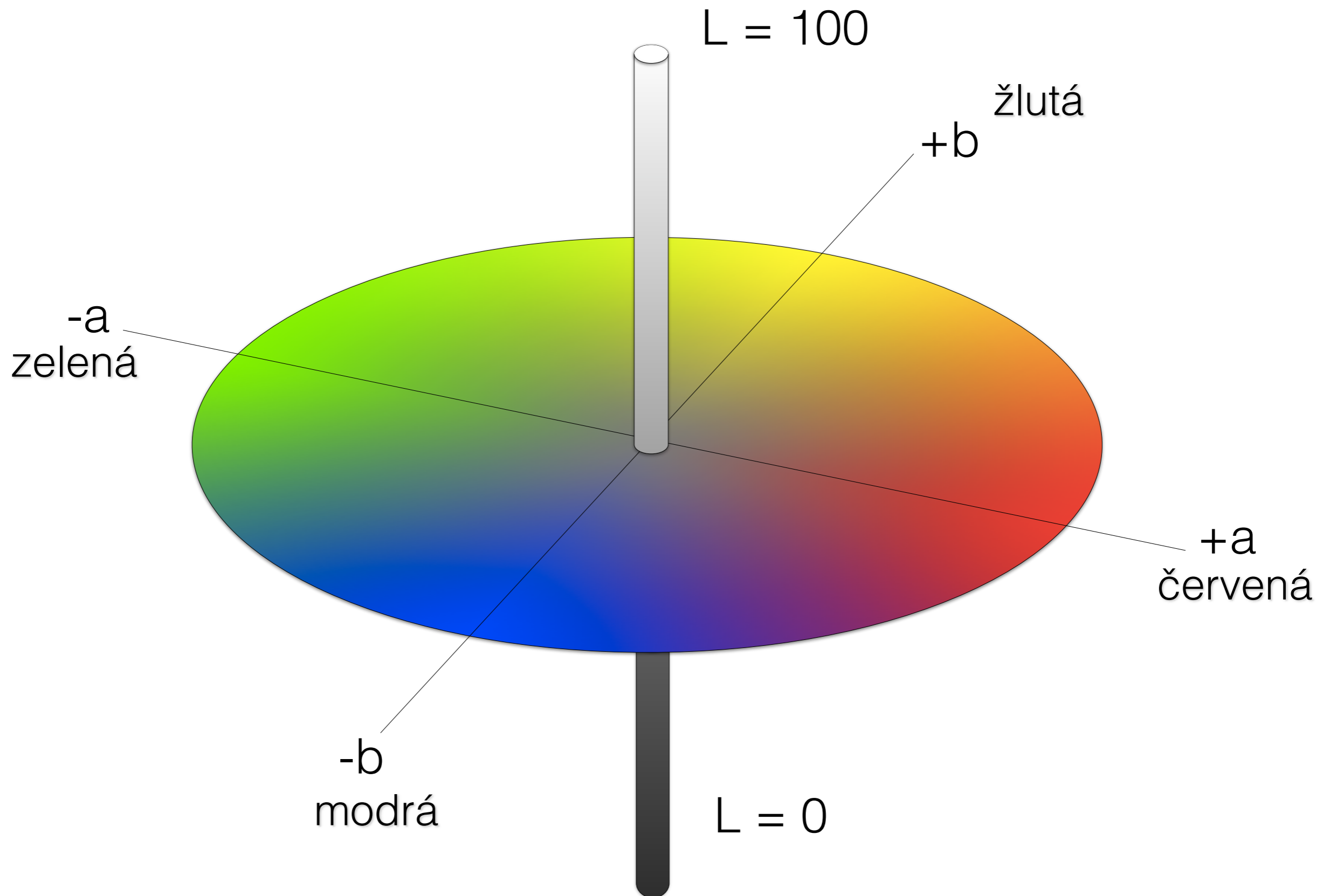


2° pozorovatel



10° pozorovatel

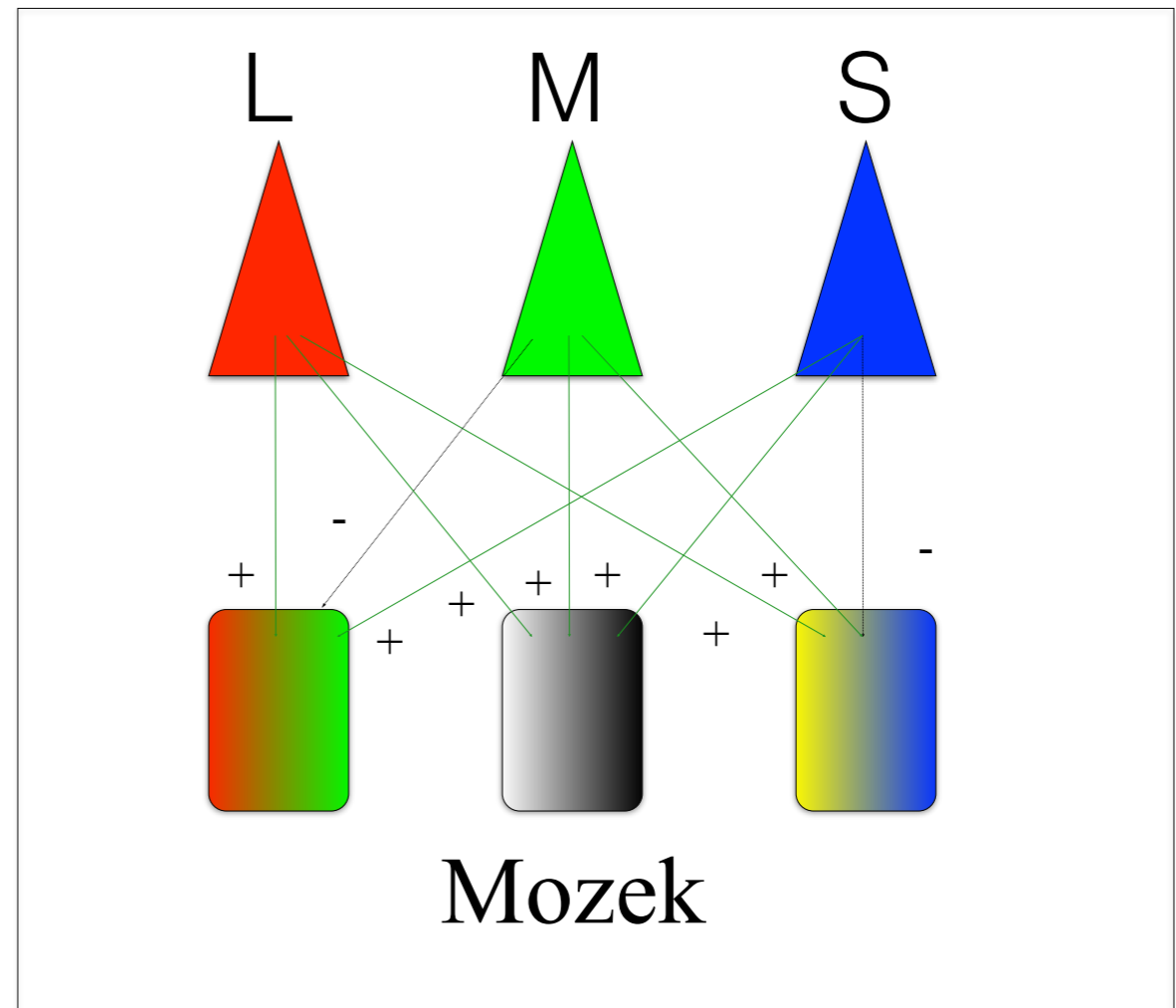
Kolorimetrická soustava CIELAB I



Teorie oponentního vnímání barev - 1923



Elliot Quincy Adams
Sep 13, 1888 - Mar 12, 1971

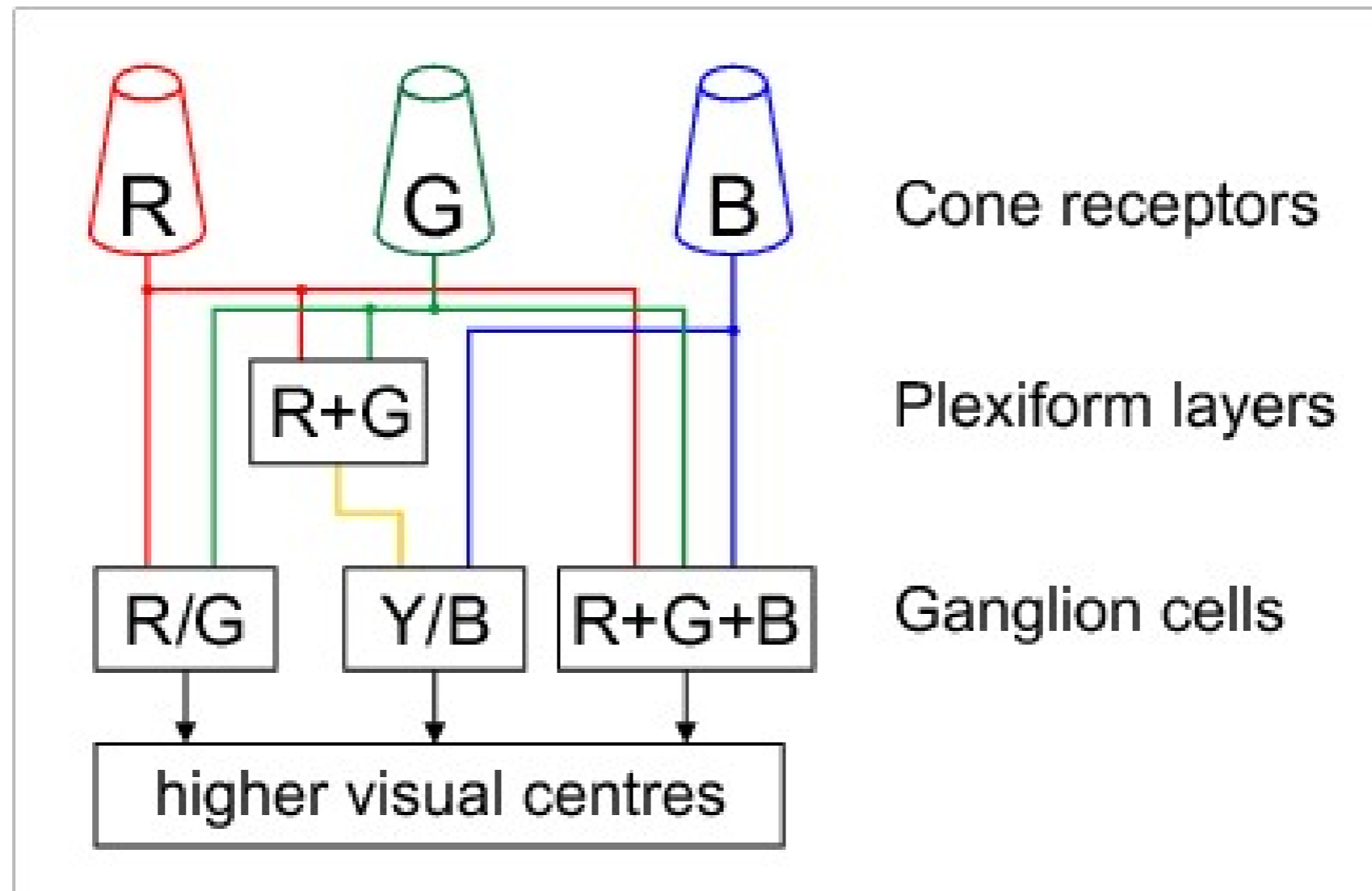


$$\check{C}Z = (L + S) - M$$

$$\check{Z}M = (L + M) - S$$

$$\check{C}B = L + M + S$$

Zónově fluktuační model - 1930



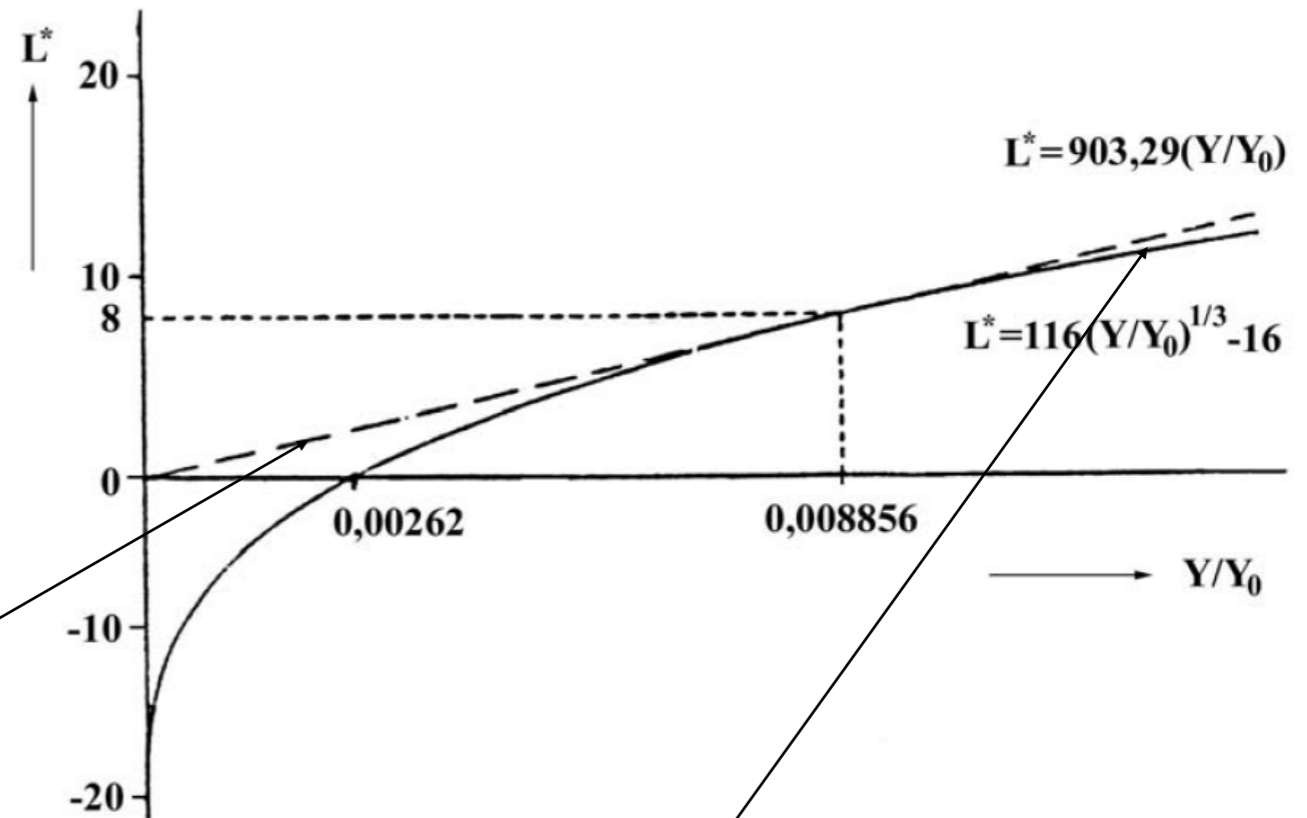
Müller 1930, Judd 1949

Kolorimetrická soustava CIELAB II

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

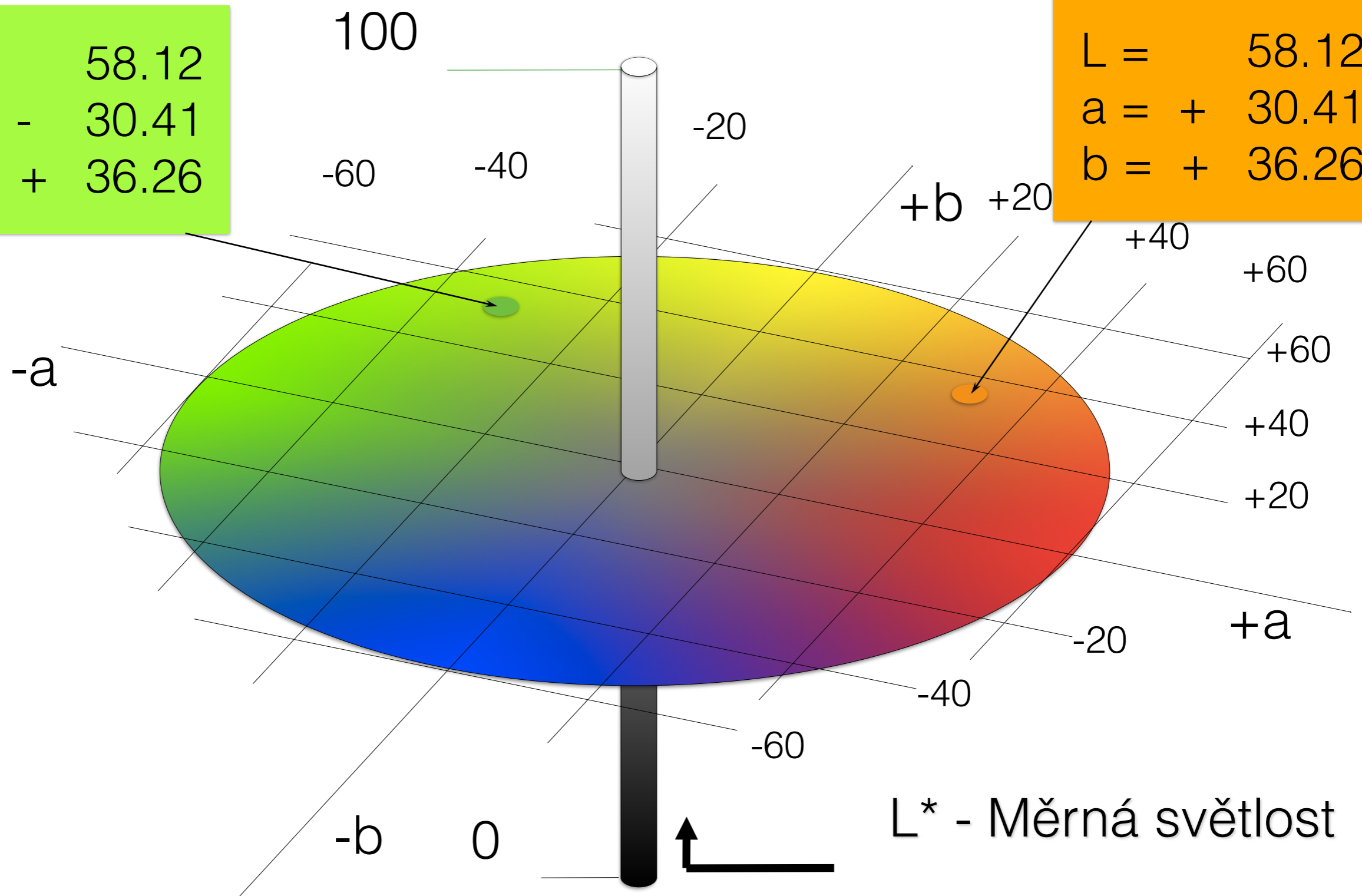
$$Y^* = \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3}$$

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

Kolorimetrická soustava CIELAB III

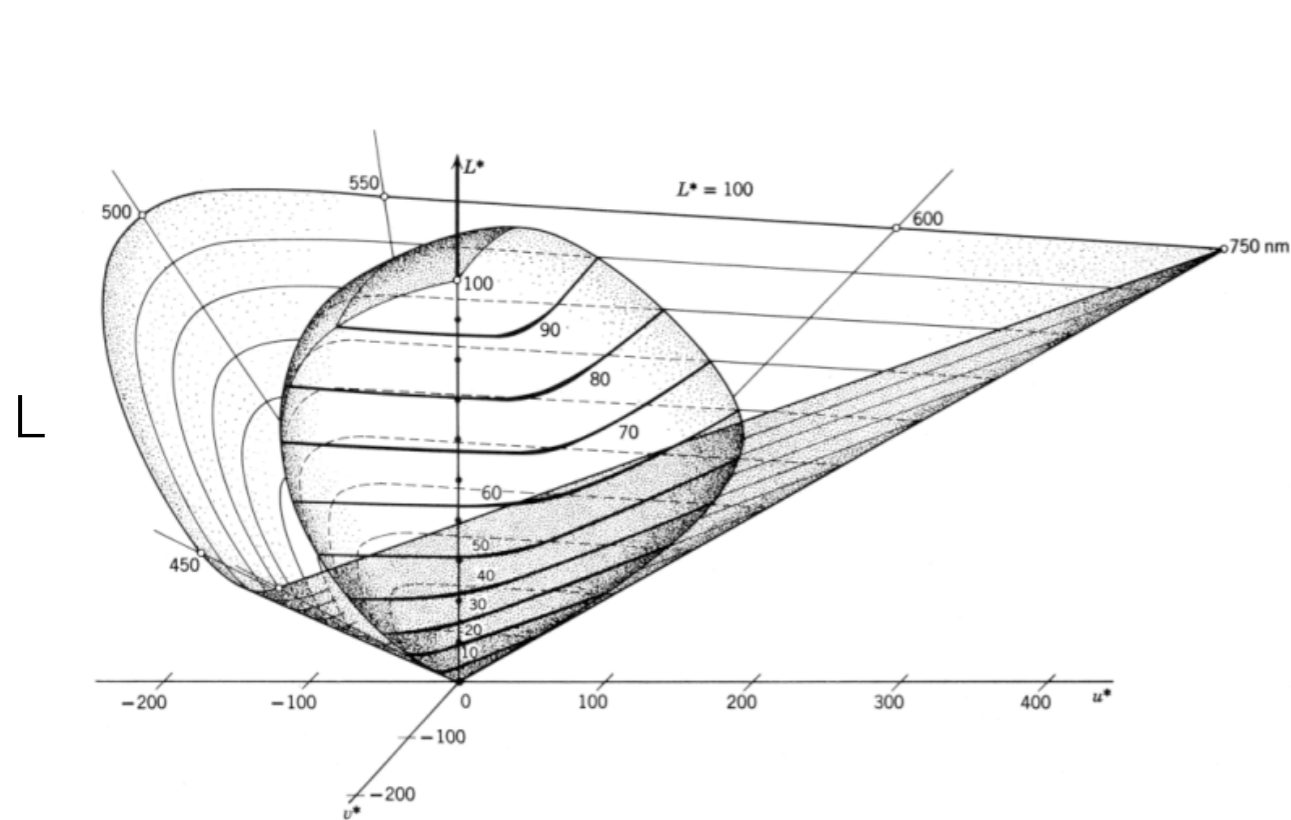
L = 58.12
a = -30.41
b = +36.26

L = 58.12
a = +30.41
b = +36.26

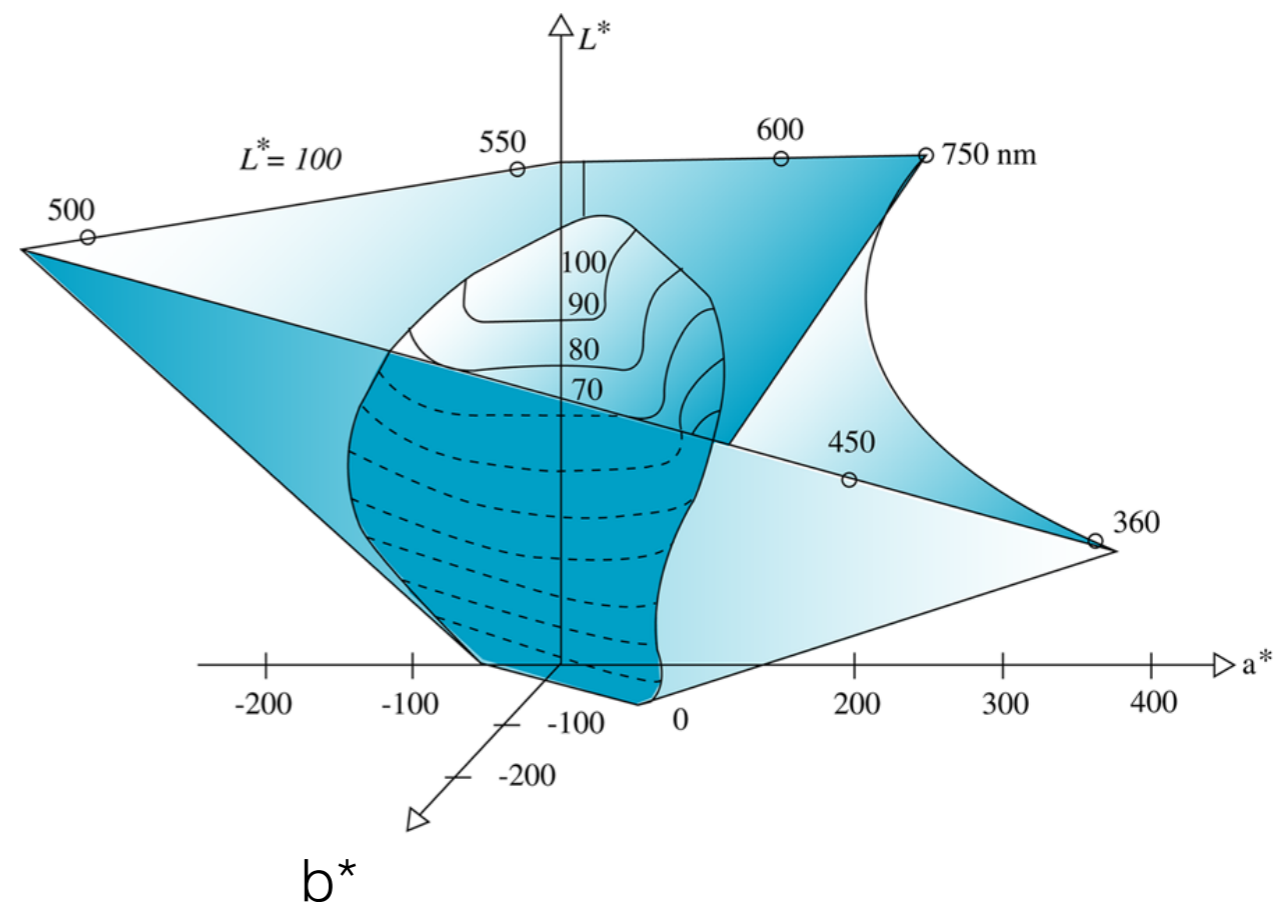


L* - Měrná světlost

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

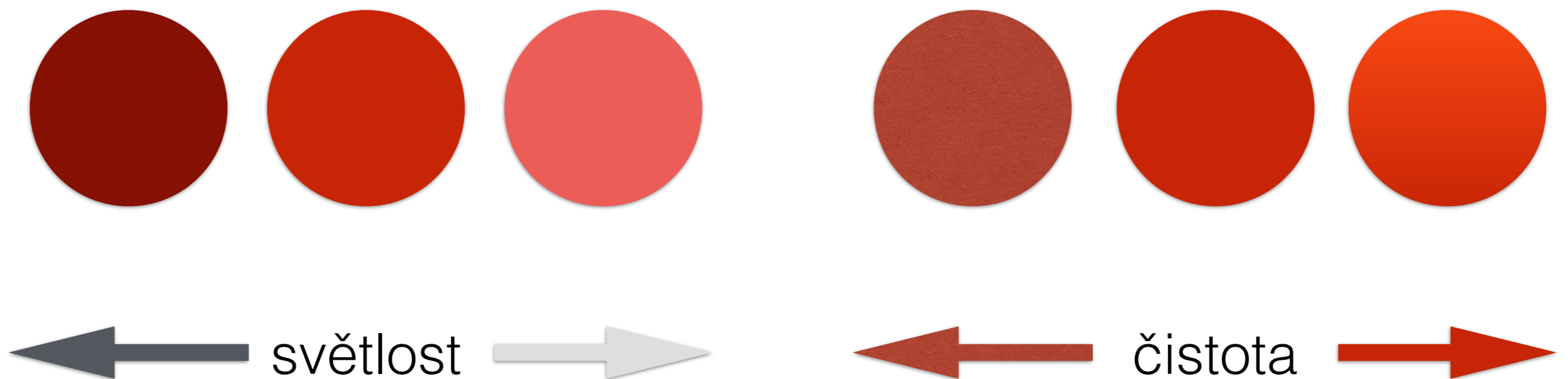


Soustava založená na
MacAdamových měřeních

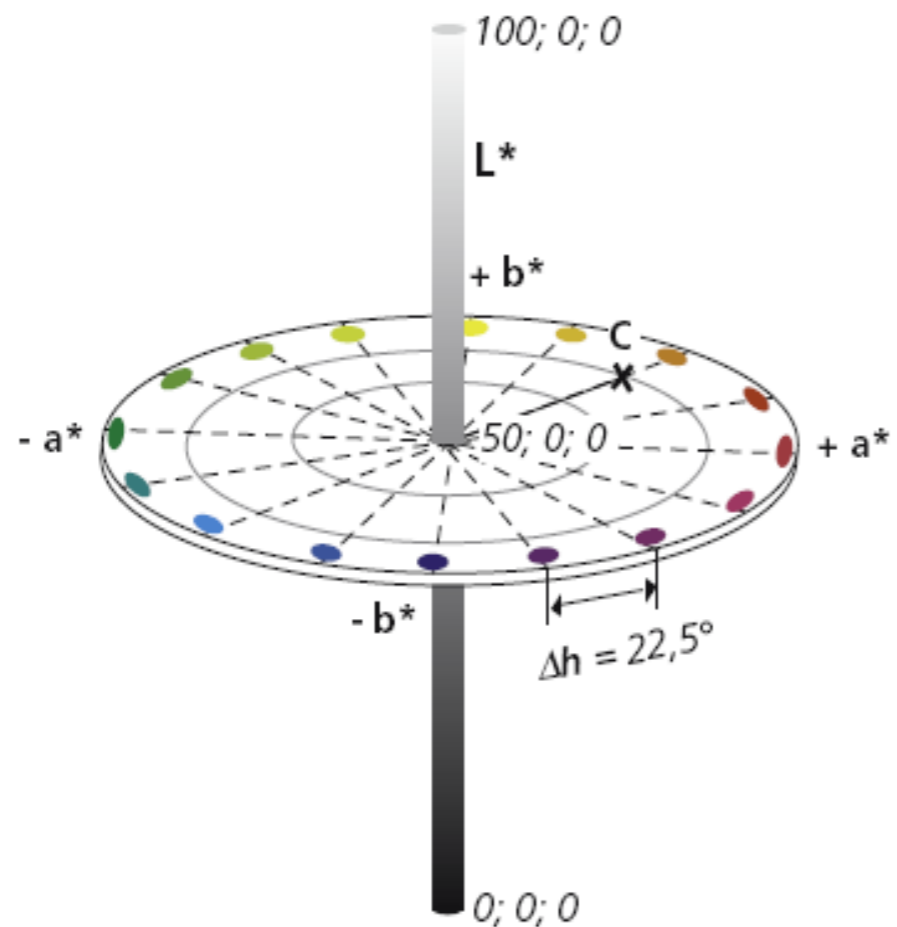


Soustava založená na Munsellovu
atlasu barev

Vyjadřování barevných rozdílů



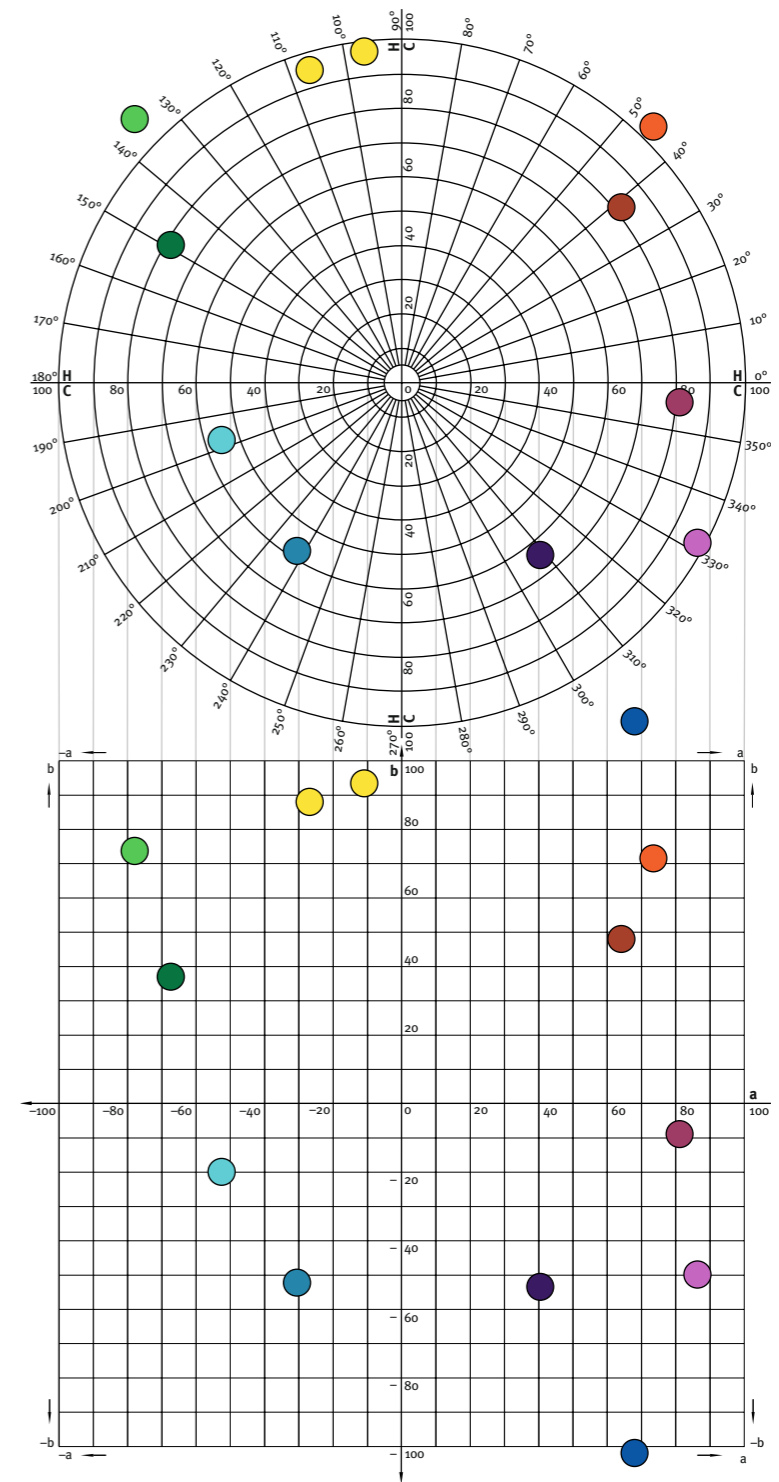
CIELCH – cylindrický prostor



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

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

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



CIELAB a CIELCH – problém výpočtu celkového barevného rozdílu ΔE^* I

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

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

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

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

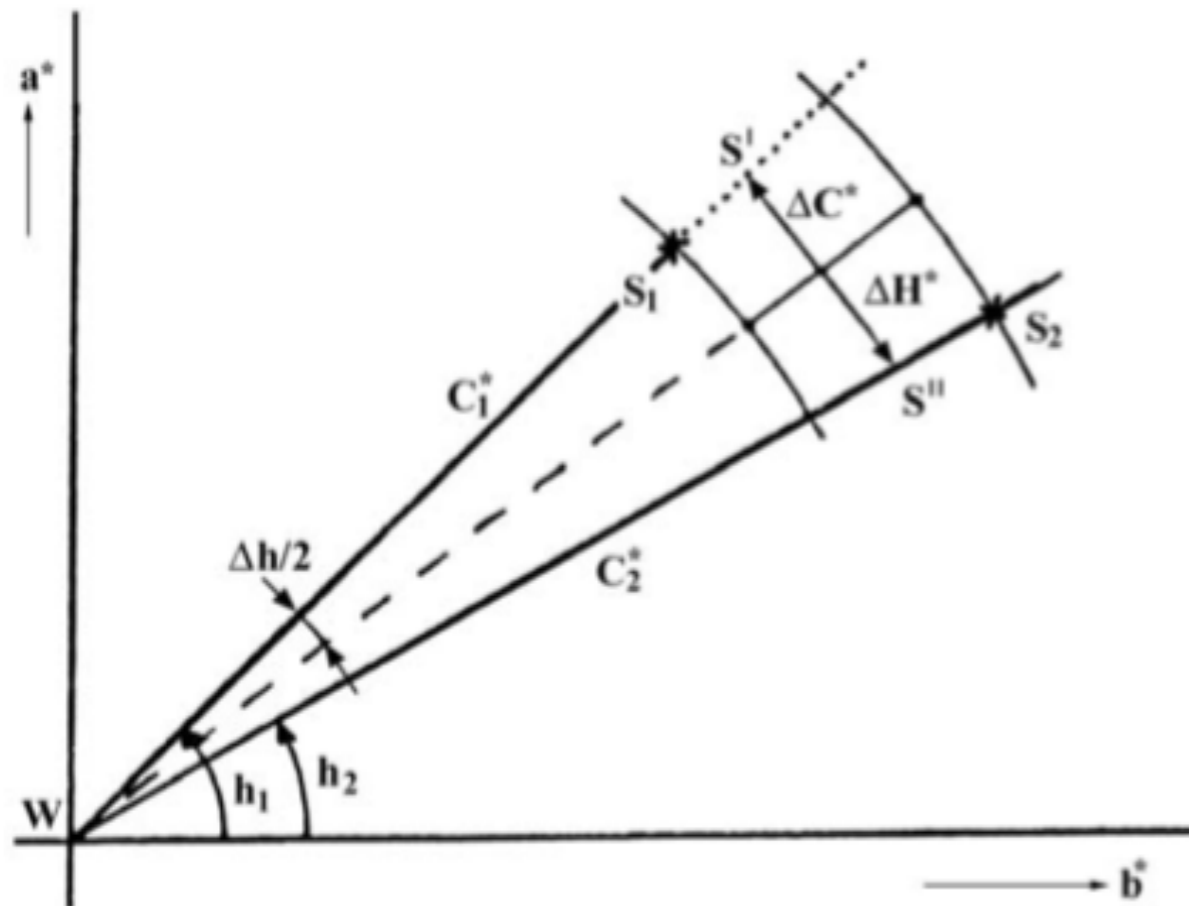


$$\Delta L^* = L_{2(\text{vzorku})}^* - L_{1(\text{předlohy})}^*,$$

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

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

CIELAB a CIELCH – problém výpočtu celkového barevného rozdílu dE^*_{II}

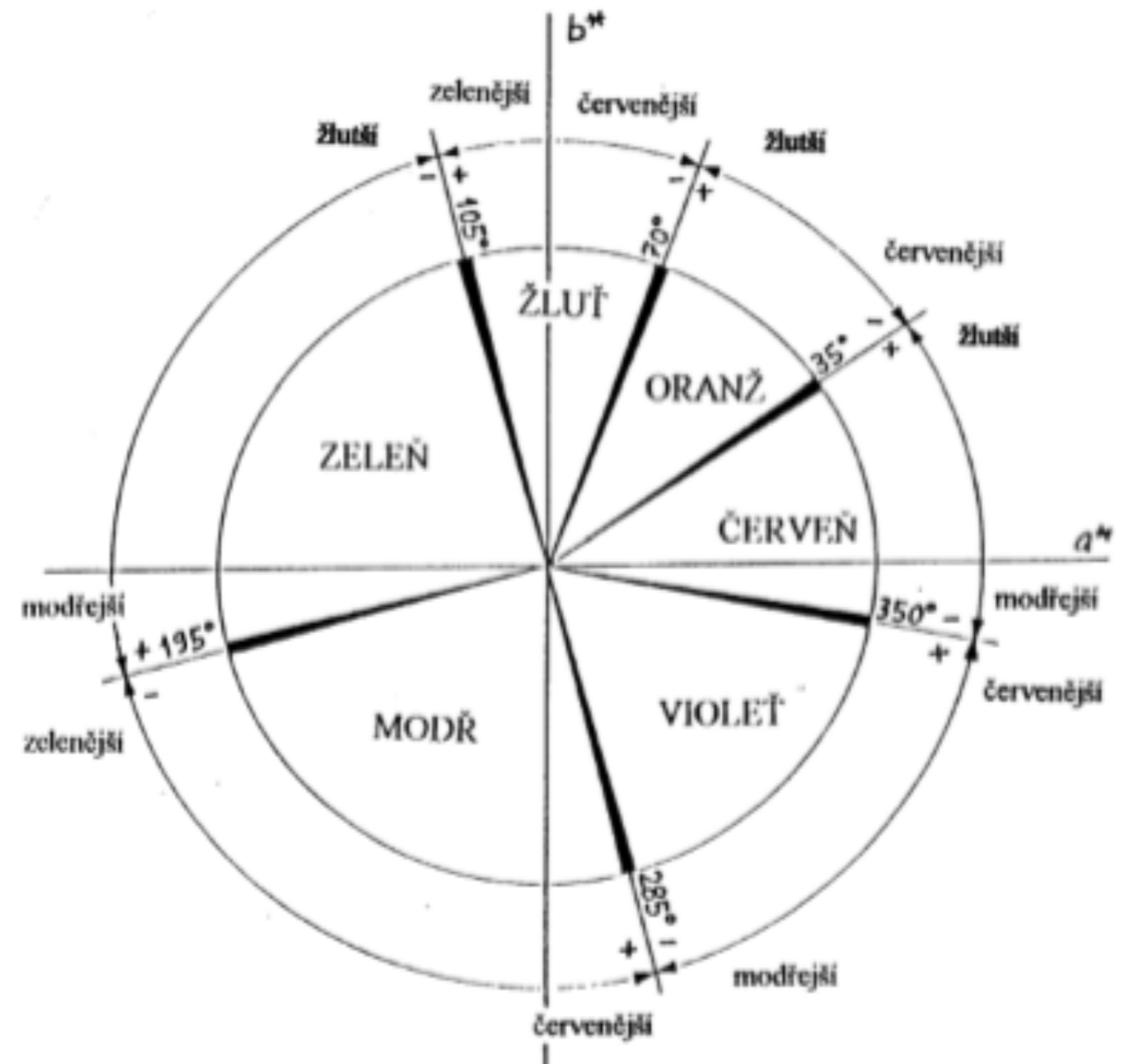


$$\Delta H^* = \sqrt{2C_1^*C_2^*(1 - \cos \Delta h^\circ)} \text{ - Huntsman / 71 /}$$

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

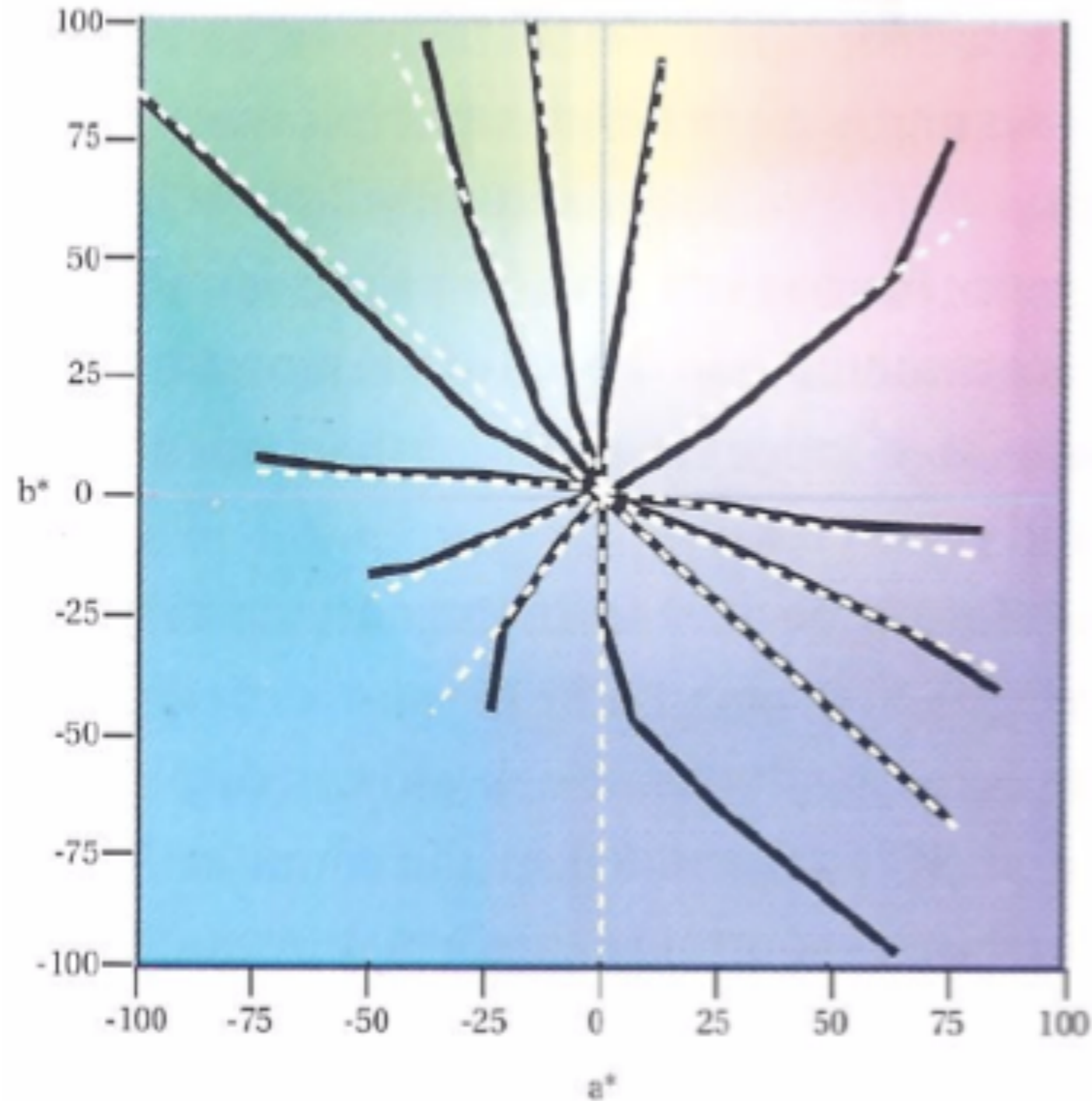
$$\Delta H^* = s\sqrt{2(C_1^*C_2^* - a_1^*a_2^* - b_1^*b_2^*)} \text{ - Stokes-Brill / 73 /}$$

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

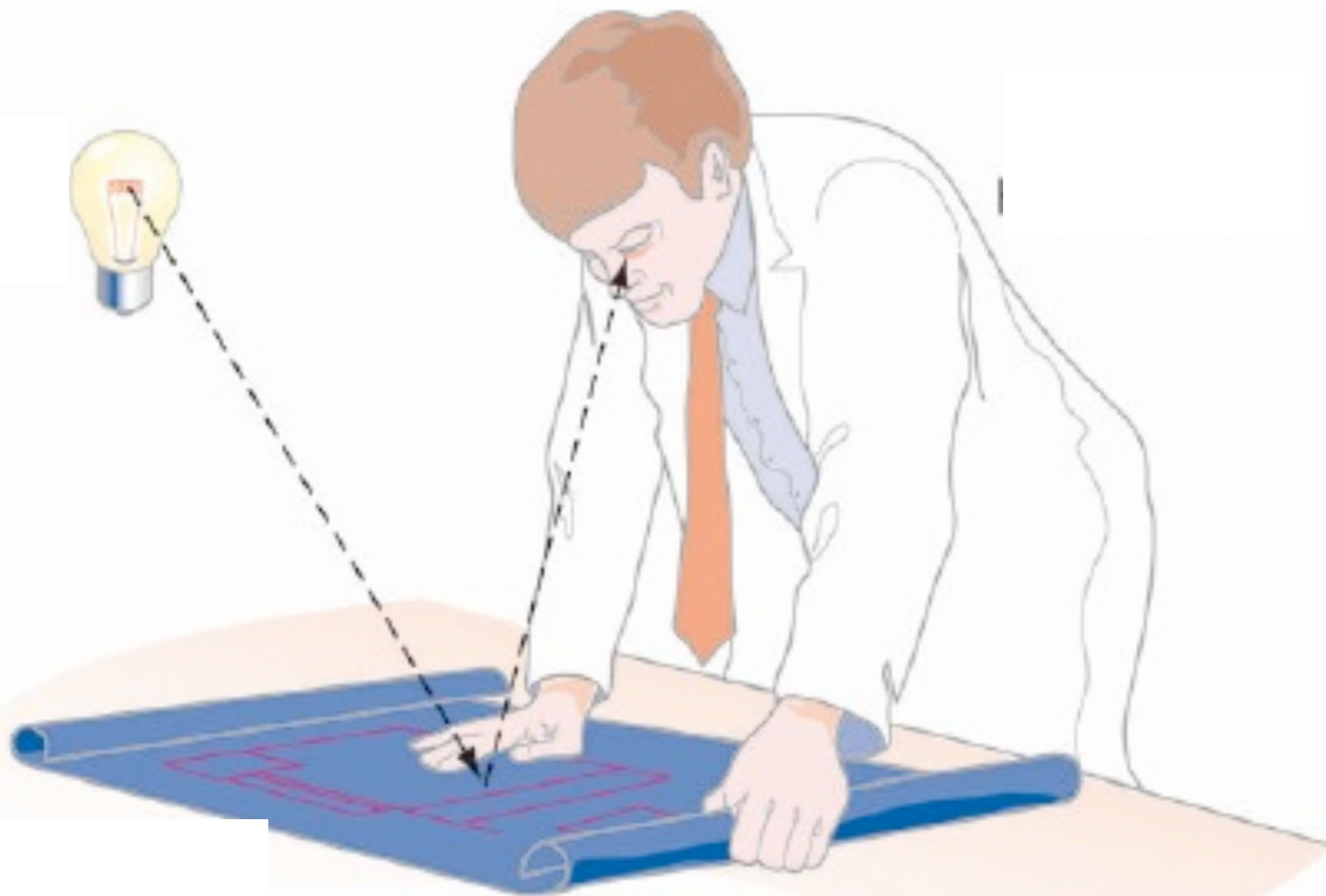


Protože je výsledek výpočtu druhé odmocniny vždy kladný je nutno určit znaménko odstínové odchylky pomocí směru, kterým se odchylka pohybuje.

CIELAB – problém odchyly ve vnímání psychometrického odstínu a měrného odstínu



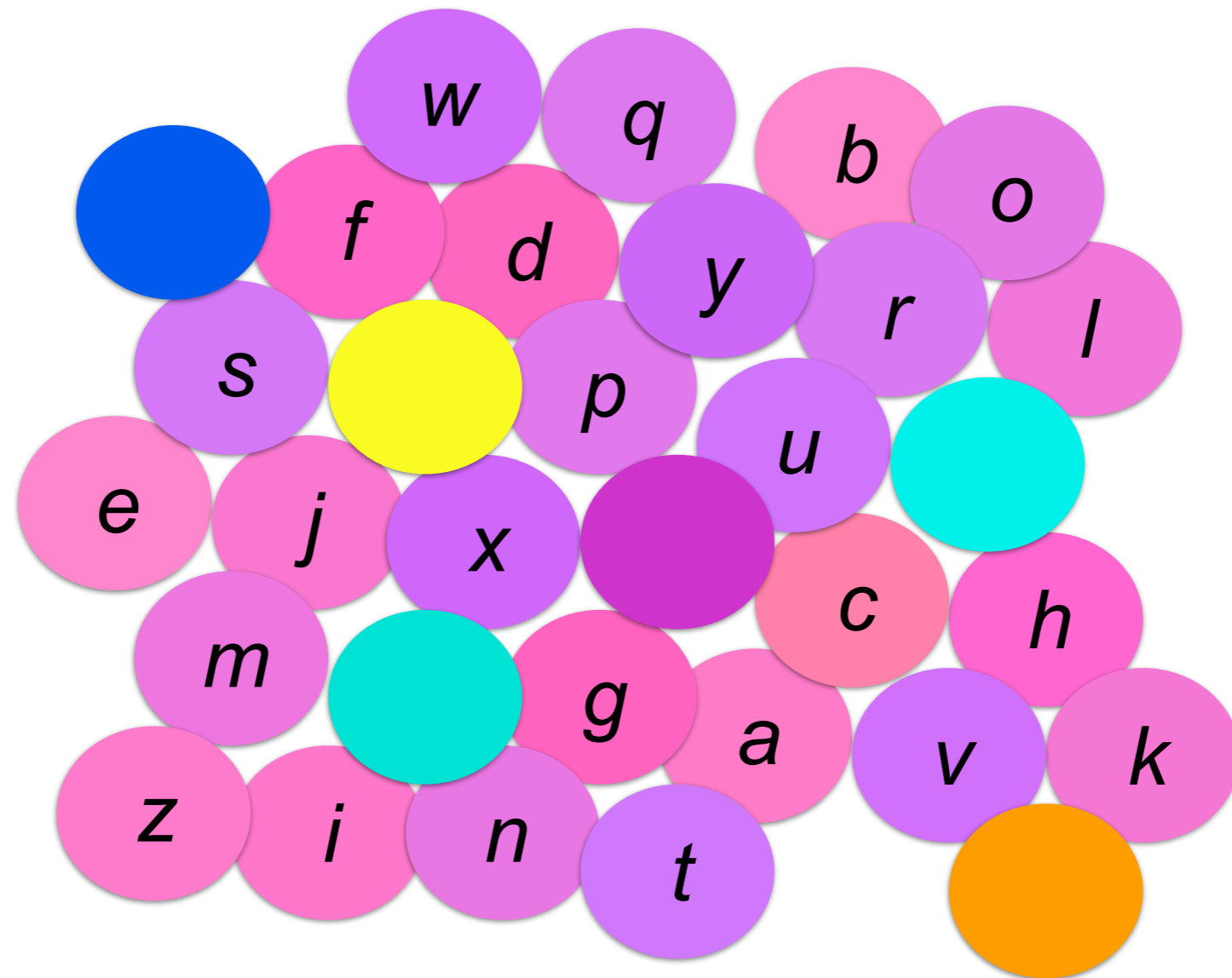
BAREVNÉ ROZDÍLY

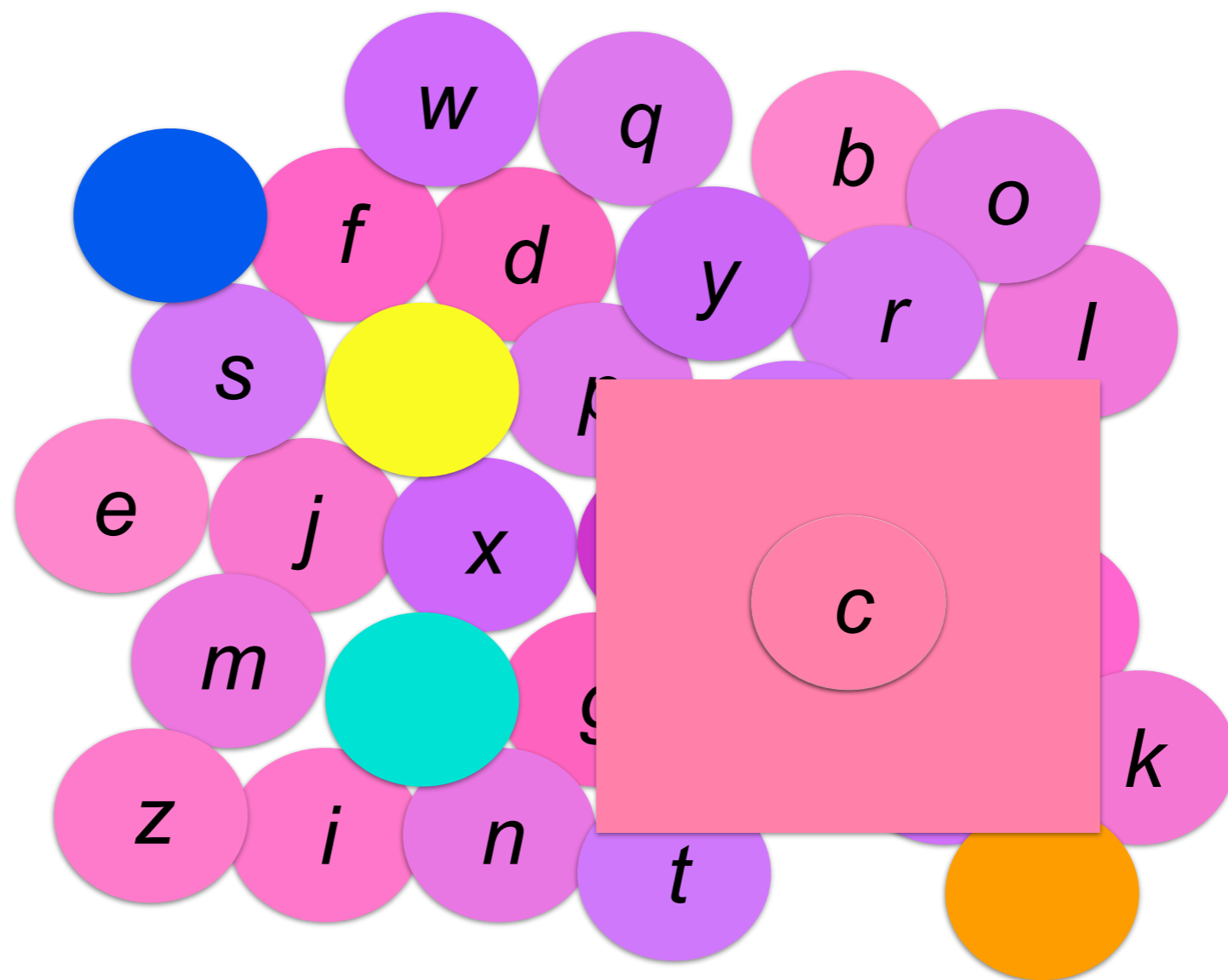


Poznáte tuto barvu ?



Která to je?

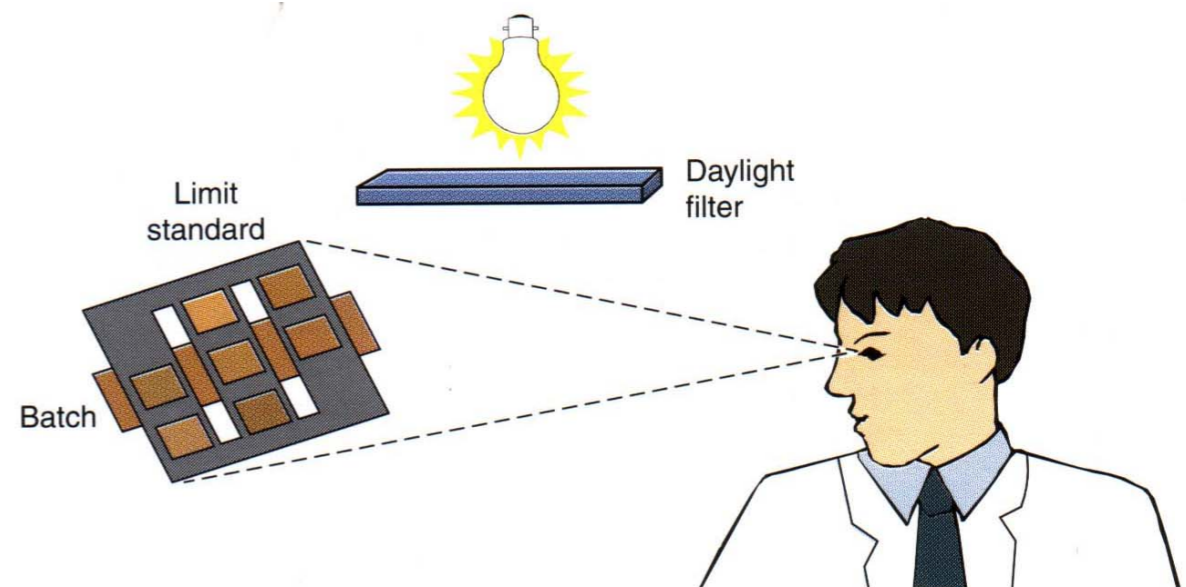
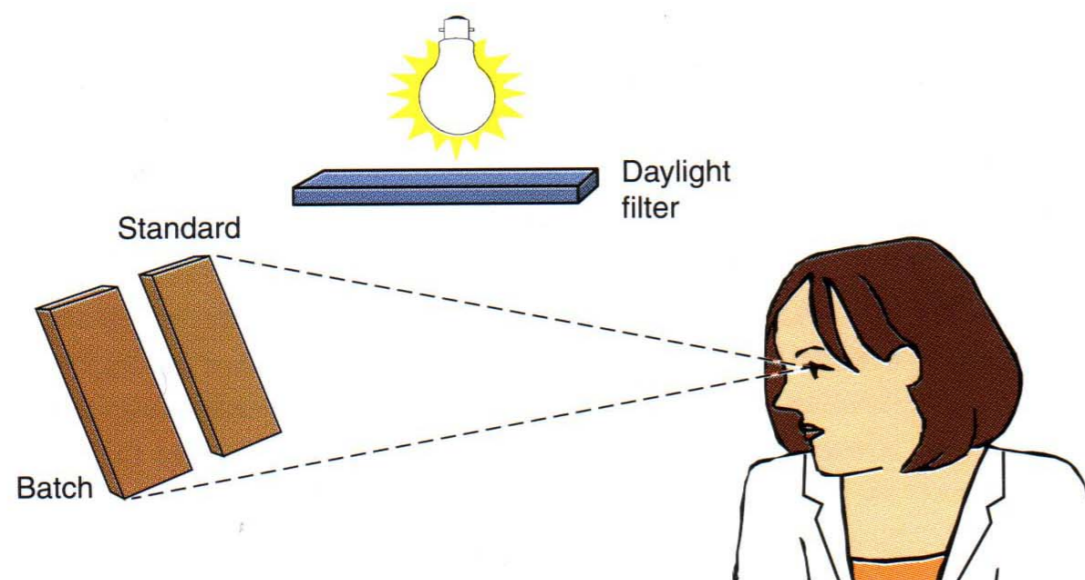




Vizuální hodnocení barevných rozdílů

I

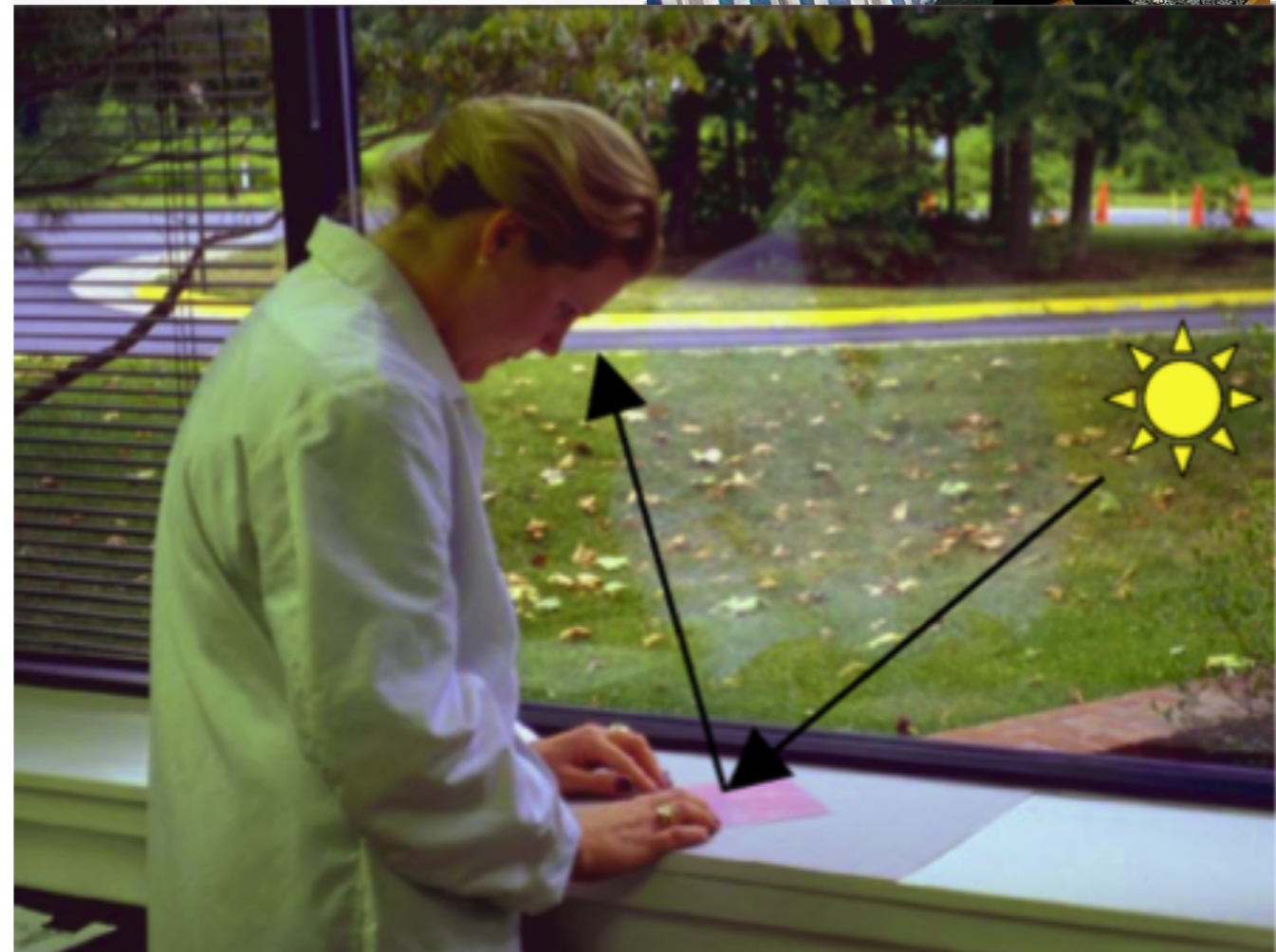
- Hodnocení barevného vzhledu
- Hodnocení barevné shody
- Vzorek a jeden standard
- Vzorek a více standardů



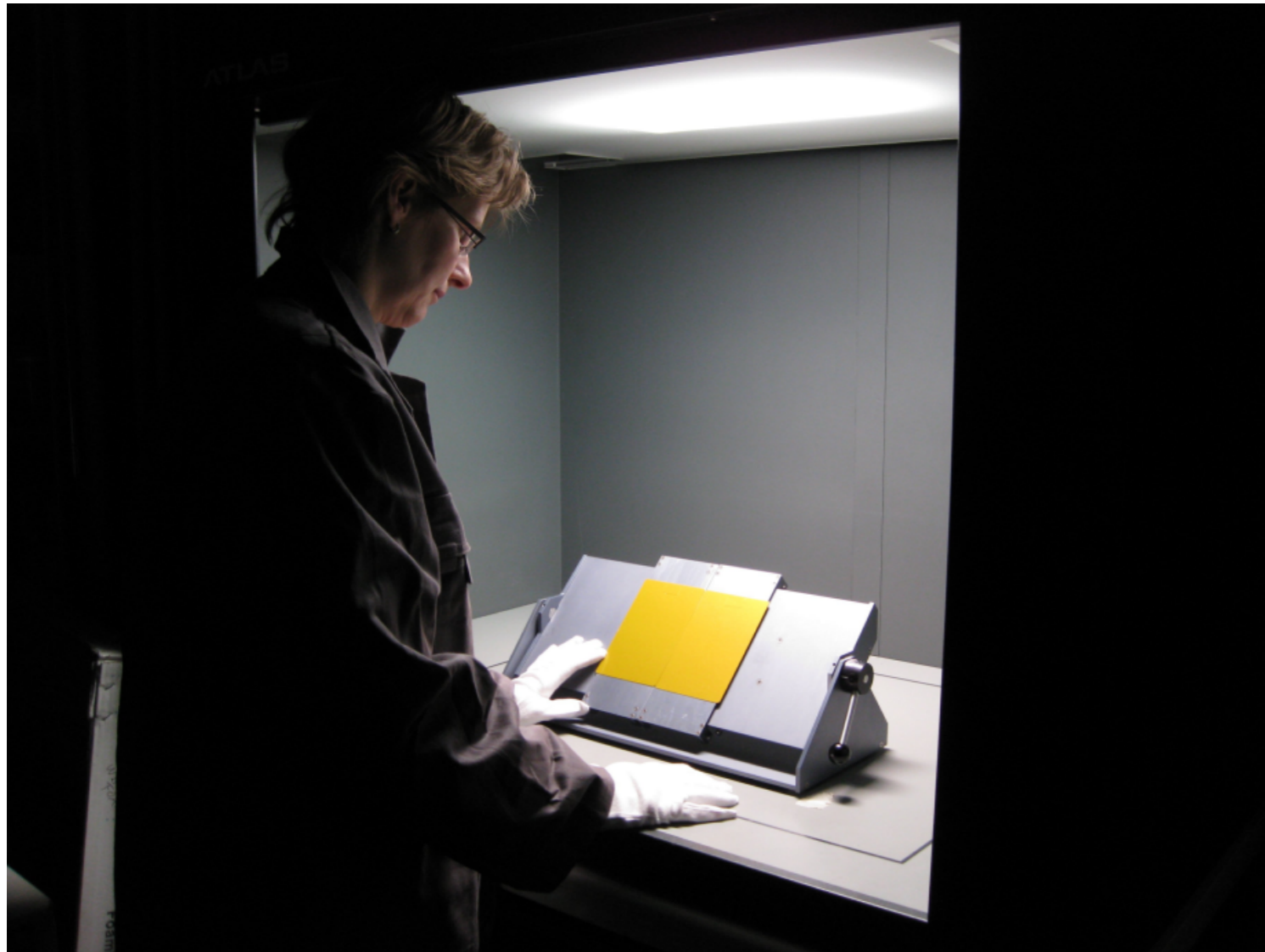
Vizuální hodnocení barevných rozdílů II



Vizuální hodnocení barevných rozdílů III

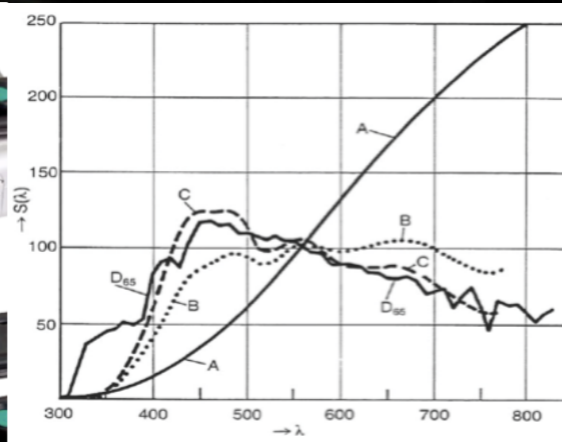


Co je nutno dodržovat při vizuálním hodnocení



» 5 Vikových P

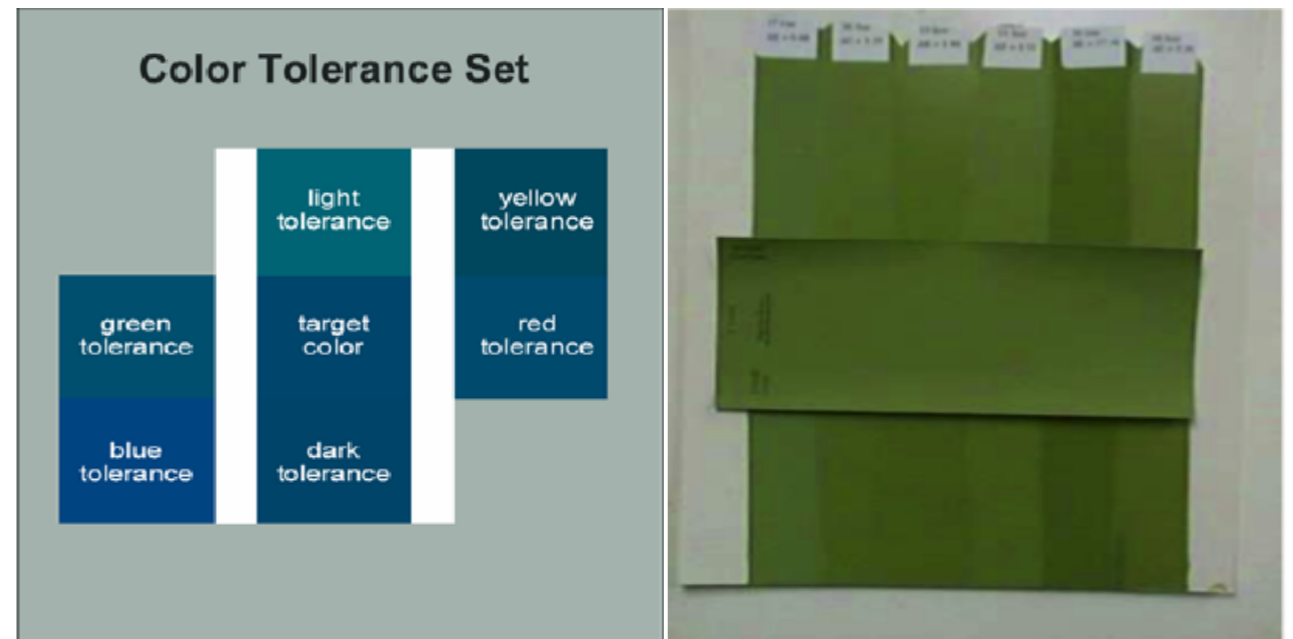
- Pozorovatel (bezdefektní vnímání barev, klid a pohoda při hodnocení)
- Podmínky osvětlování (spektrální složení blízké CIE standardními osvětlení)
- Podmínky pozorování (hodnocení při konstantním úhlu pozorování, bez rušivého okolního světla)
- Poloha hodnocených vzorků (vzorky těsně u sebe, shodná orientace a fixní poloha, optimální velikost 7x14 cm)
- Pracovní plocha (achromatická, bez přítomnosti rušivých vlivů – vzorky...)



Vizuální hodnocení s použitím vícenásobných standardů



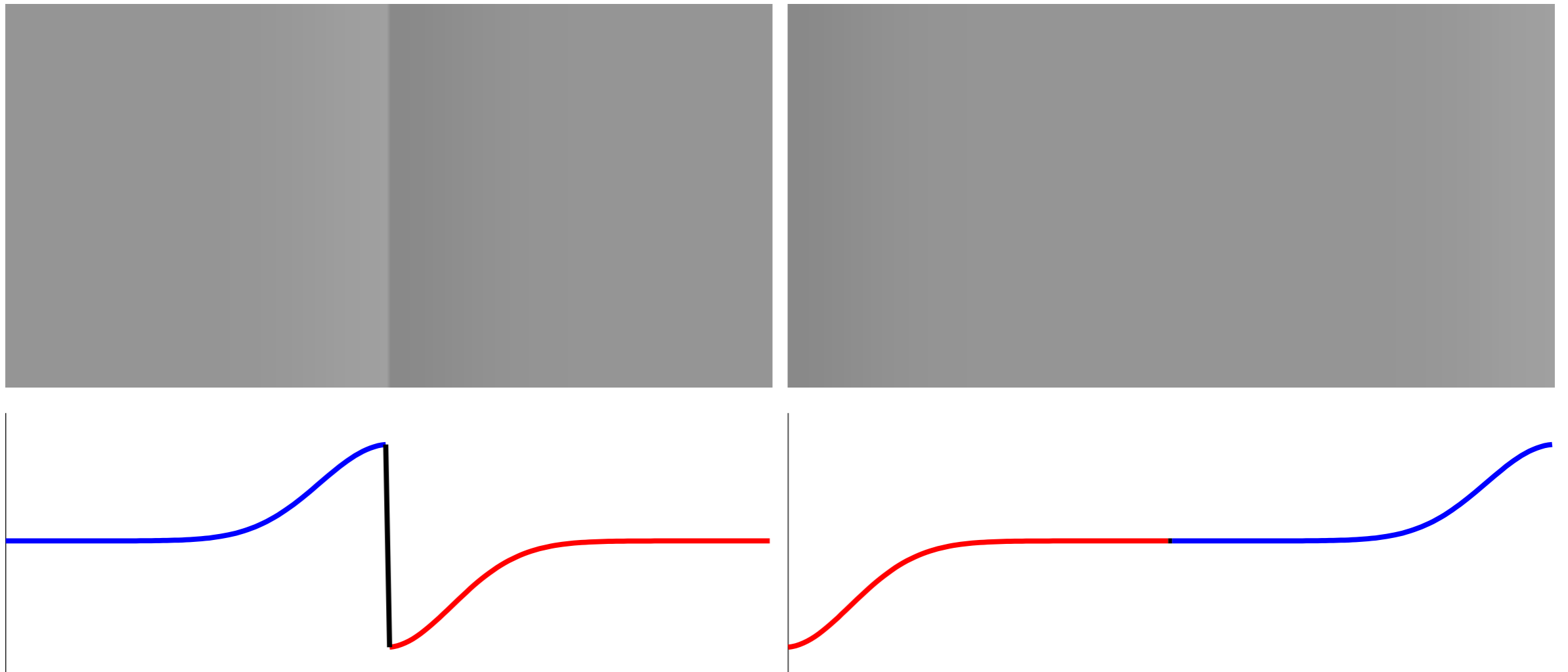
- Standard + dalších šest odstínů představují hranice přijatelnosti vzorku
- Hranice jsou nezávislé na kolorimetrické soustavě
- Barva a toleranční hranice jsou stanoveny odběratelem



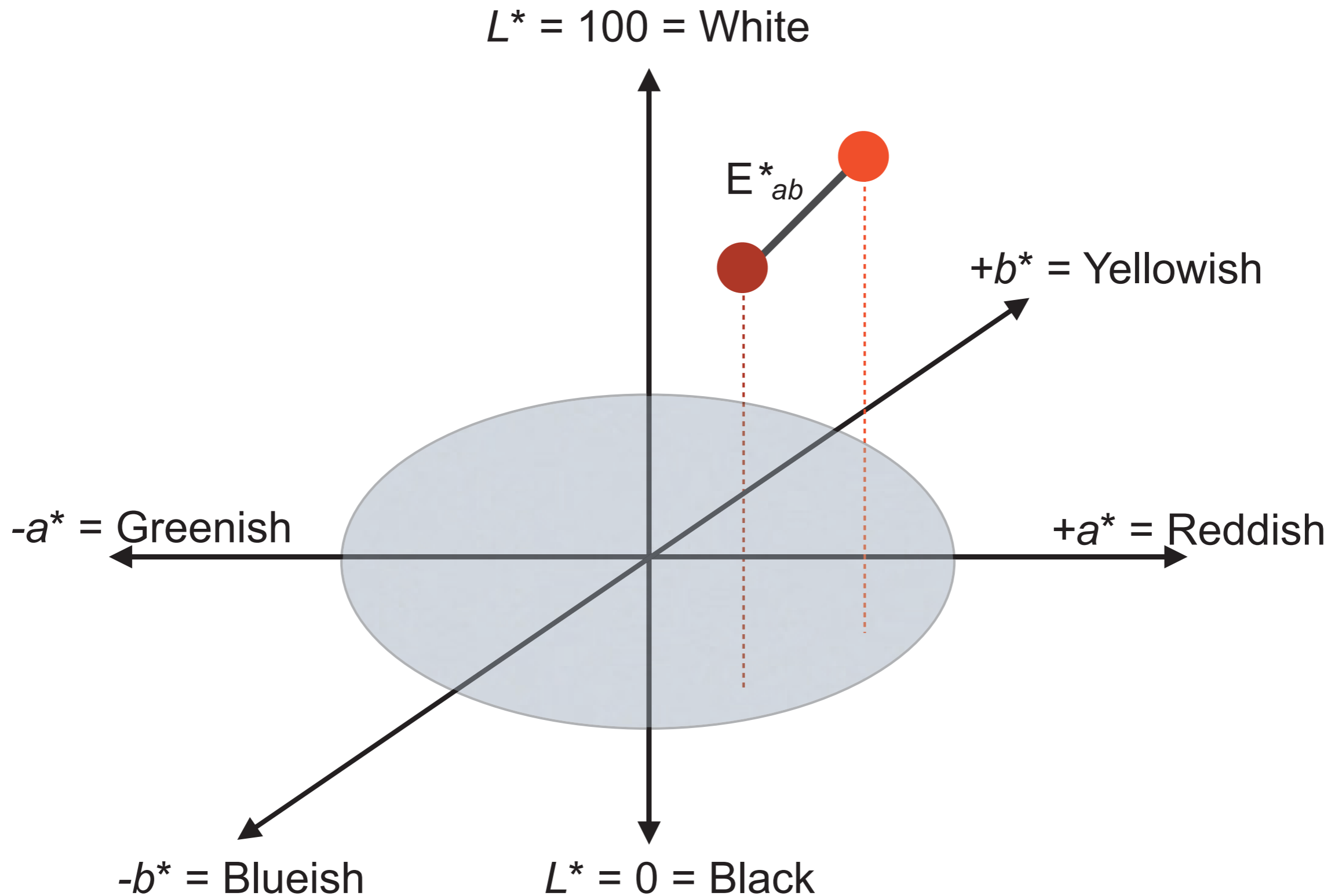
Průmyslové posudky barevných rozdílů



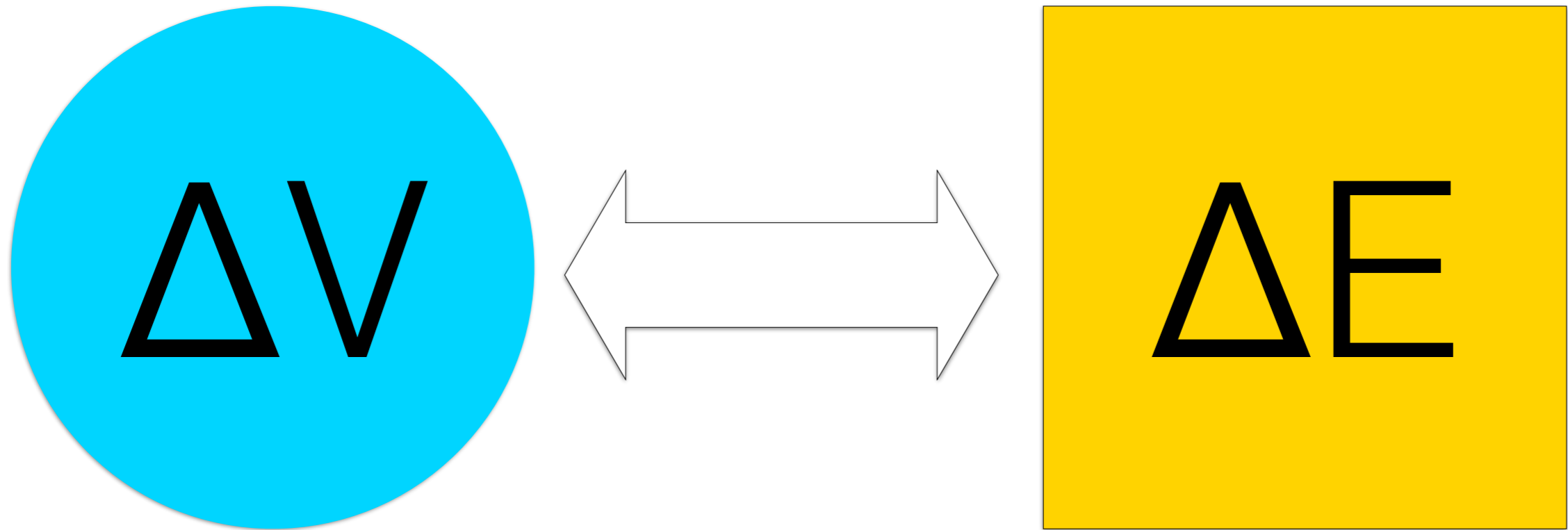
Vliv lokálního kontrastu



Průmyslové posudky barevných rozdílů



Průmyslové posudky barevných rozdílů

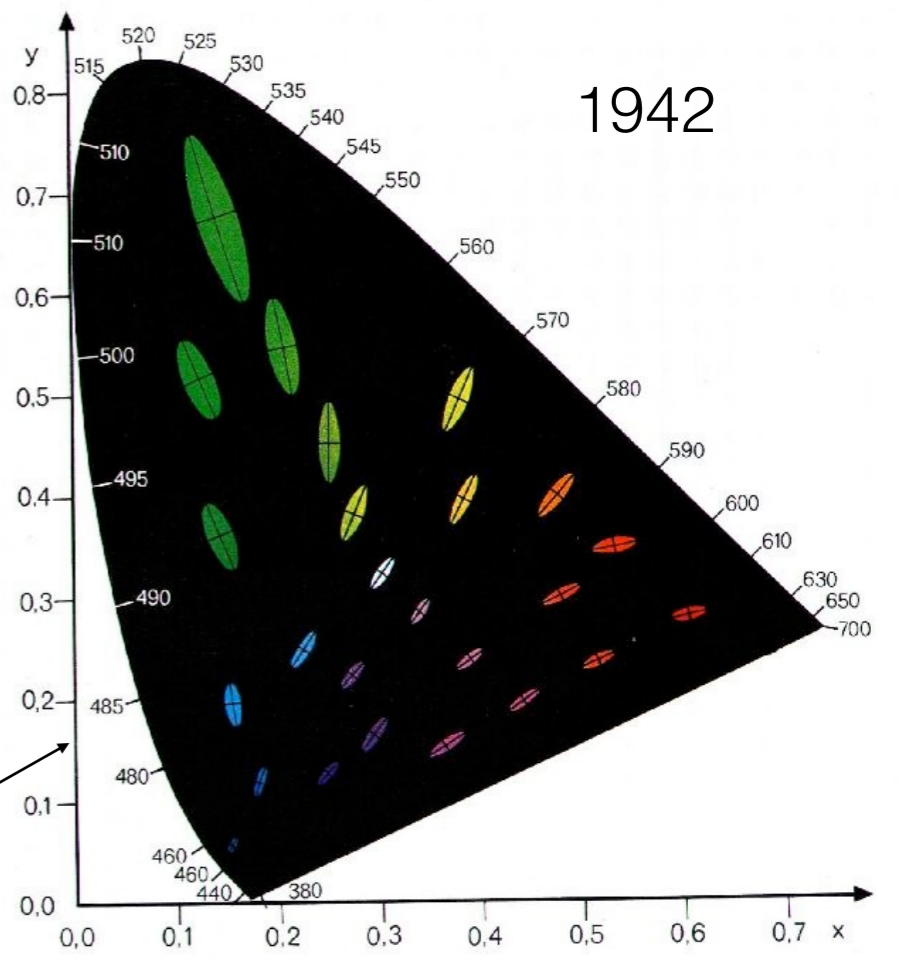
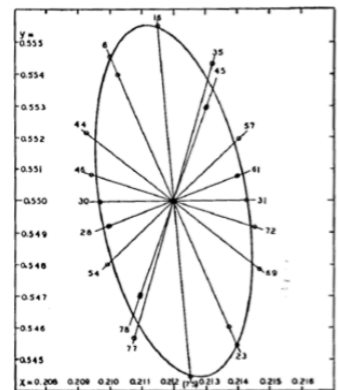
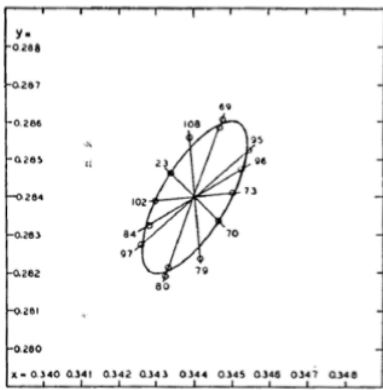
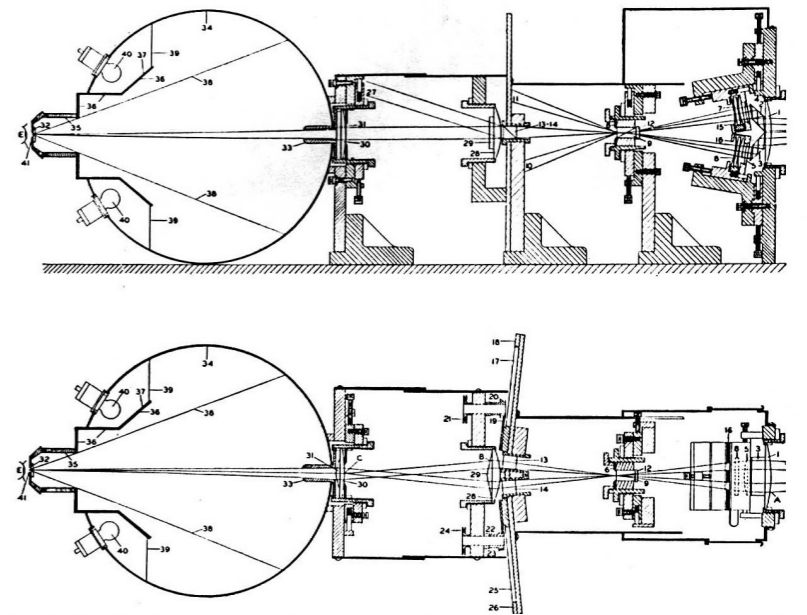


Color-Difference Formula

$$\Delta E = f (X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2, \text{ atd.})$$

MacAdamovy hraniční tolerance pro hodnocení barevných rozdílů

Říkáte „vyhovující“ - DE 0.4?
JÁ NESOUHLASÍM!!!

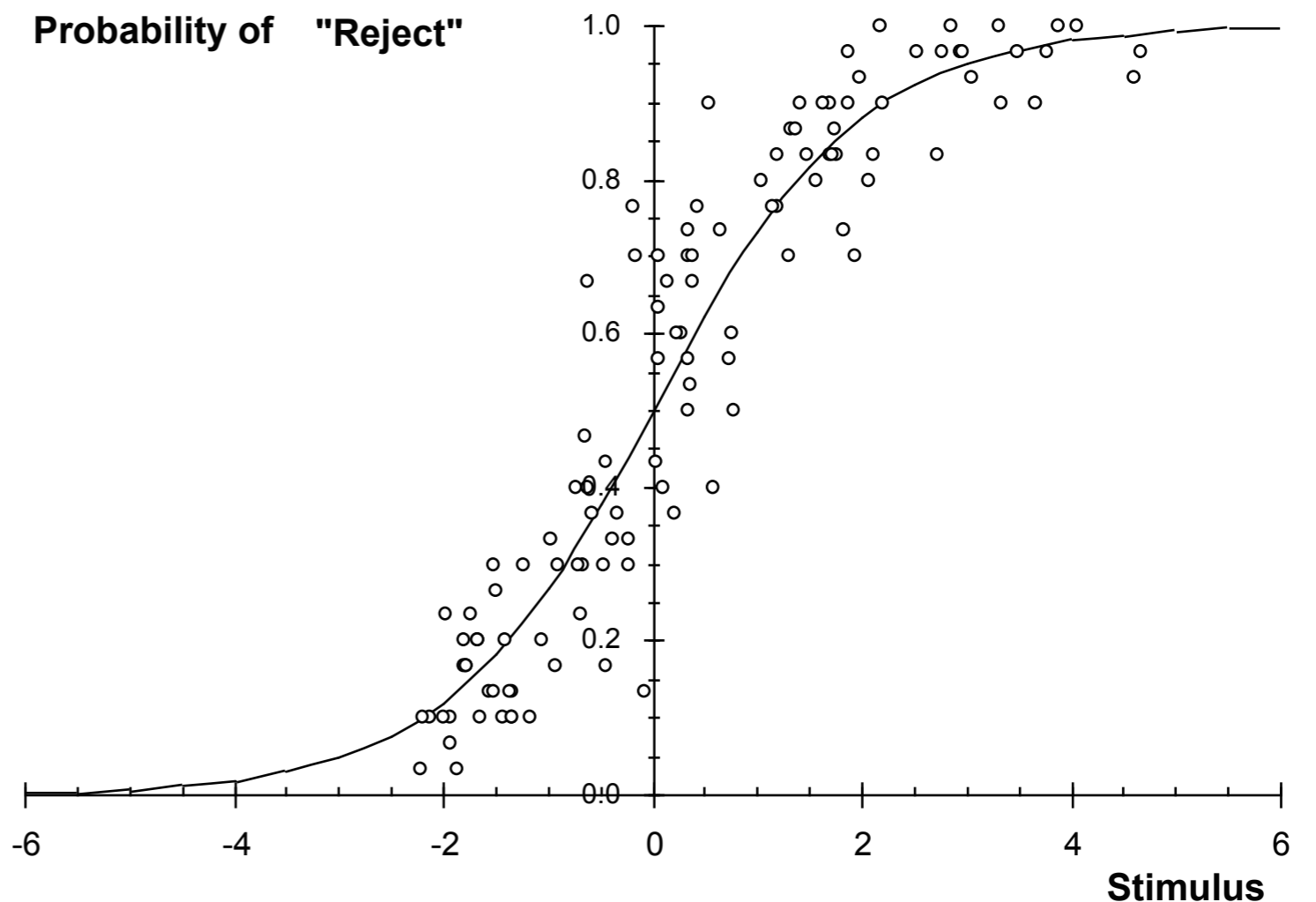
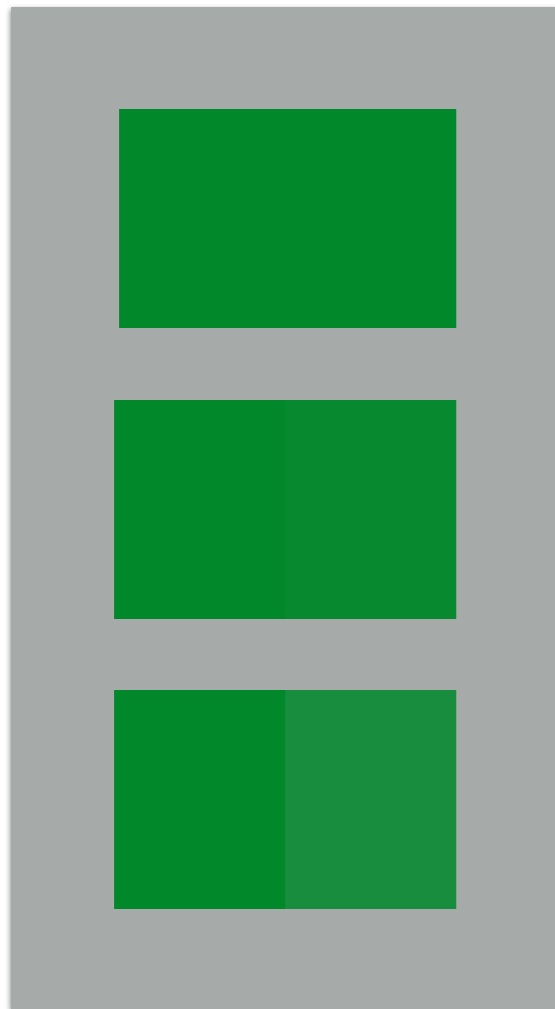


MacAdamův pozorovatel PGN (Perley G. Nutting, Jr.)

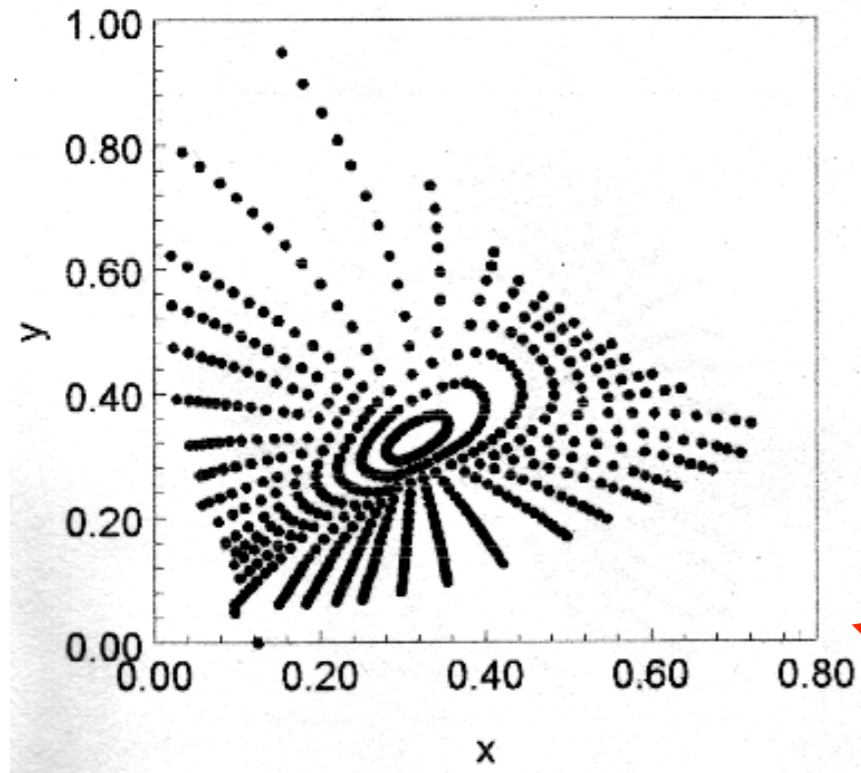
Funkce maximální pravděpodobnosti

$$L = \sum_{i=1}^N \binom{n}{r_i} P_i^{r_i} (1 - P_i)^{n-r_i} \quad \longleftarrow \text{maximum}$$

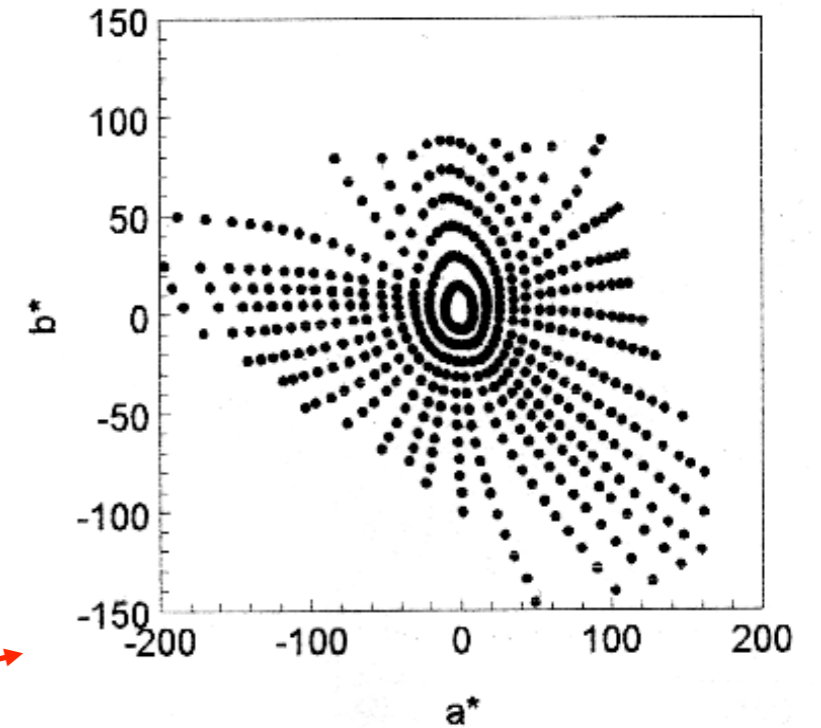
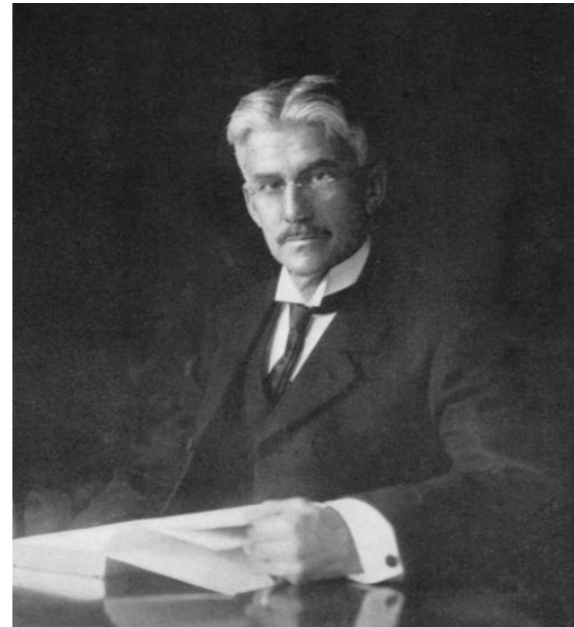
$$-\ln L = \sum_{i=1}^N [r_i \ln P_i + (n - r_i) \ln(1 - P_i)] \quad \longleftarrow \text{minimum}$$



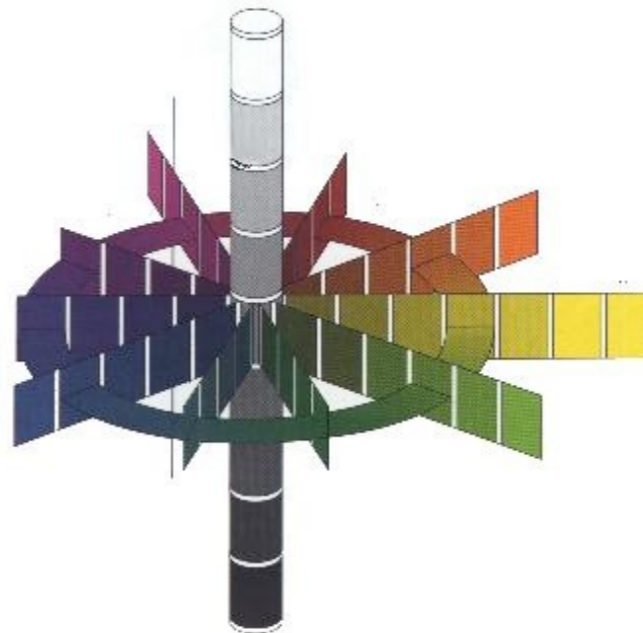
Zobrazení Munsellových dat v kolorimetrických soustavách – velké barevné rozdíly



CIE x,y



CIELAB

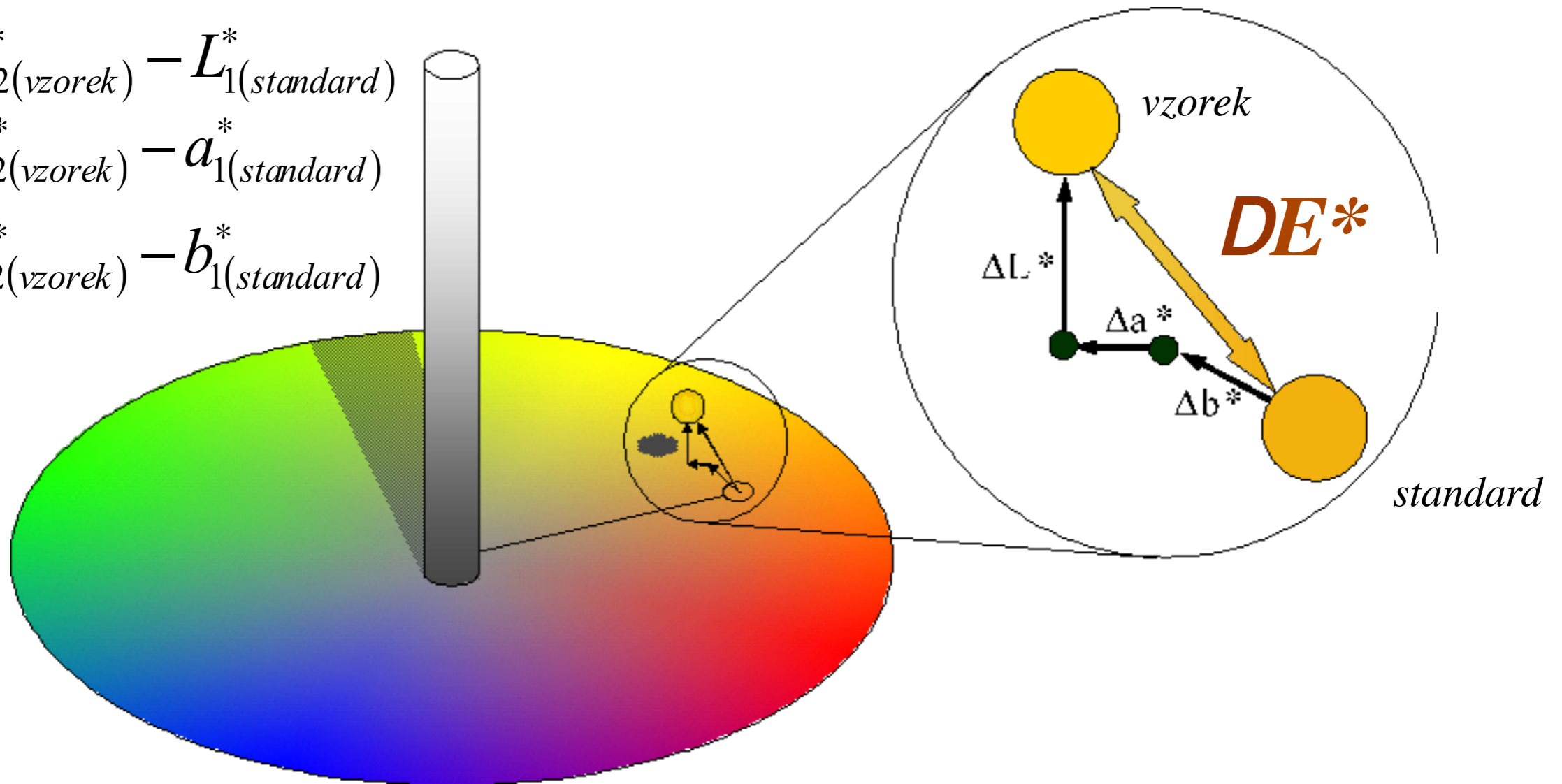


Barevné rozdíly v kolorimetrické soustavě CIELAB (1976)

$$\Delta L^* = L_{2(\text{vzorek})}^* - L_{1(\text{standard})}^*$$

$$\Delta a^* = a_{2(\text{vzorek})}^* - a_{1(\text{standard})}^*$$

$$\Delta b^* = b_{2(\text{vzorek})}^* - b_{1(\text{standard})}^*$$



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

Barevné rozdíly v kolorimetrické soustavě CIELAB (1976)



$$DE^* = 1$$



$$DE^* = 2,5$$



$$DE^* = 0,9$$

CIELAB - problém konjugace jednotlivých barevných rozdílů a vizuálně rovnoměrného odstupňování

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

$$1.0 = \sqrt{(0.57)^2 + (0.57)^2 + (0.57)^2}$$

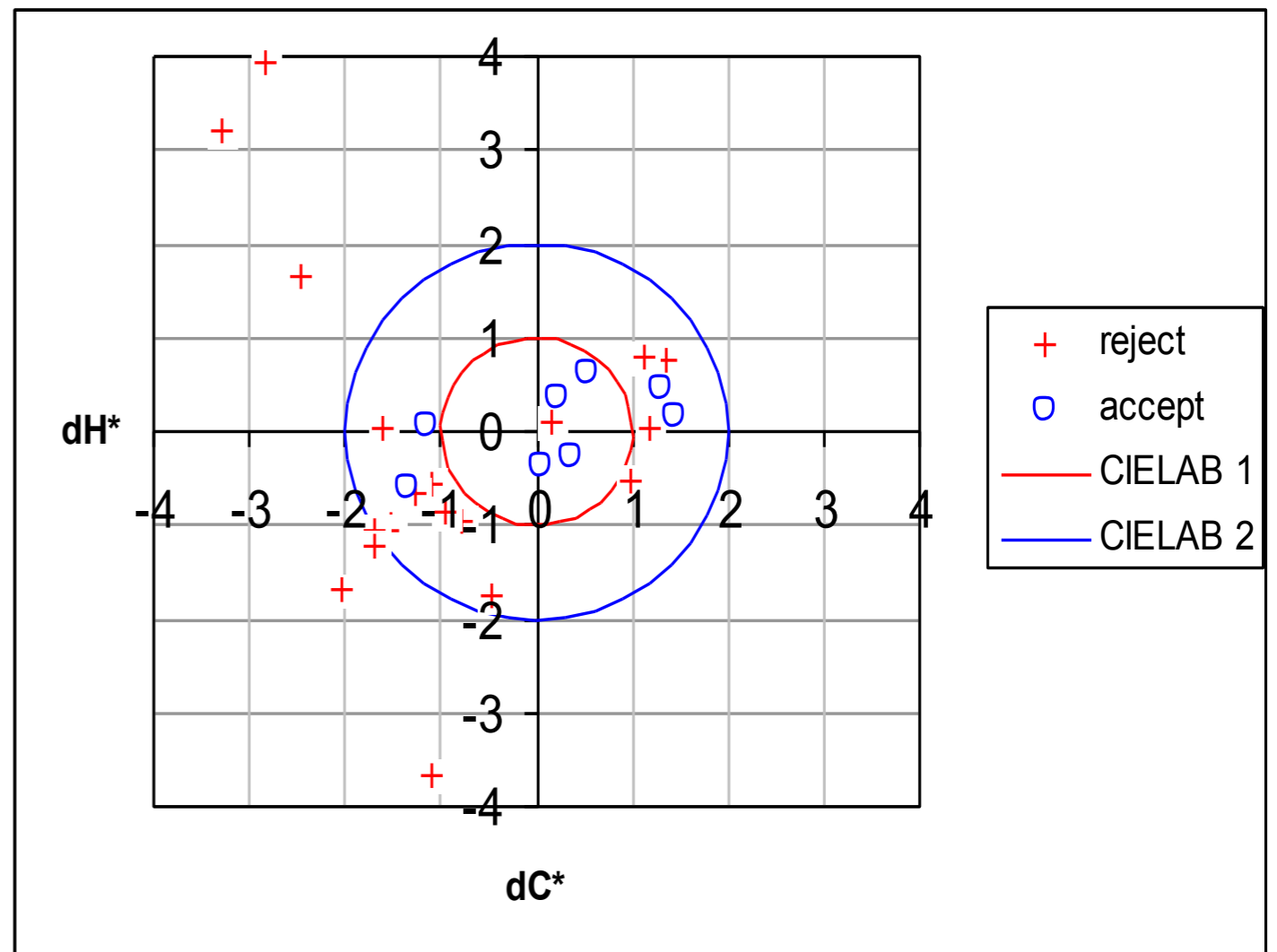
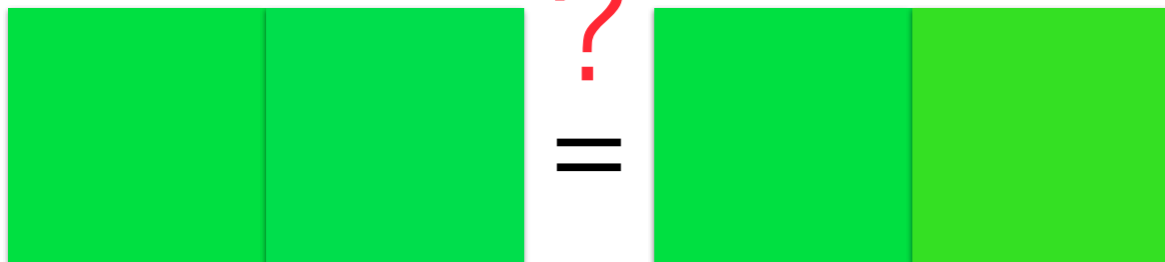
||

$$1.0 = \sqrt{(0.00)^2 + (1.00)^2 + (0.00)^2}$$

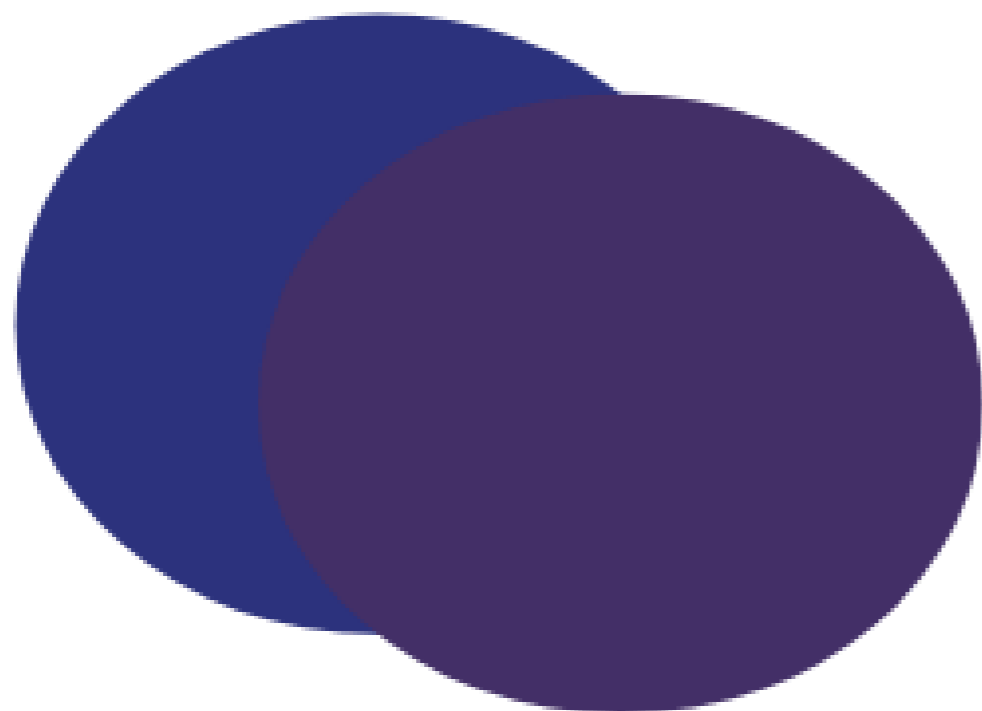


?

=

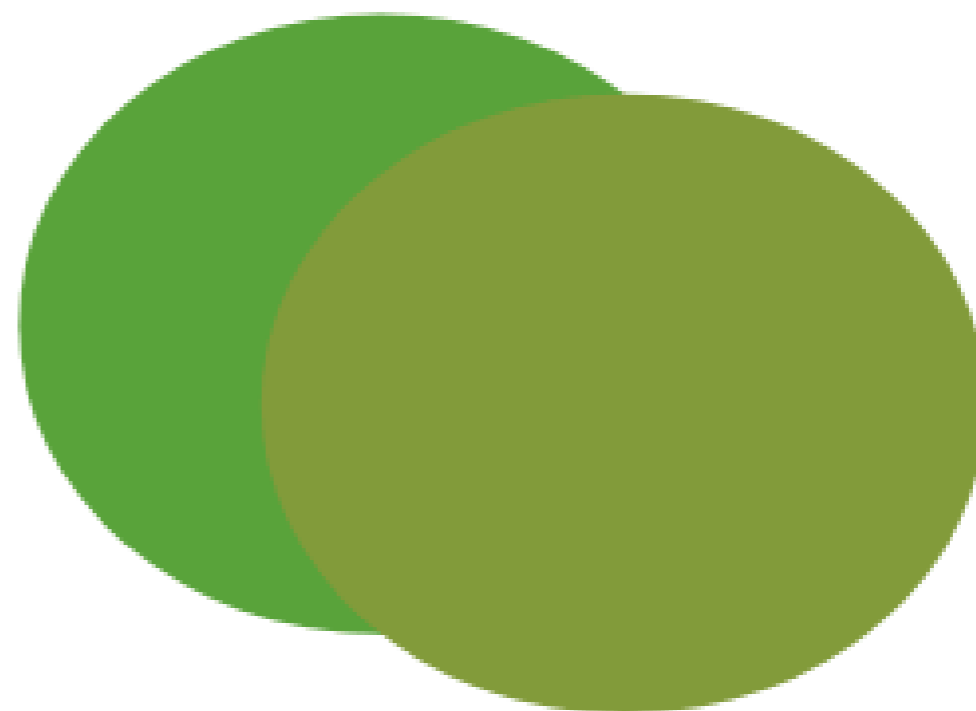


Srovnání celkového barevného rozdílu v XYZ a Lab



$$\Delta E_{XYZ}=1,2$$

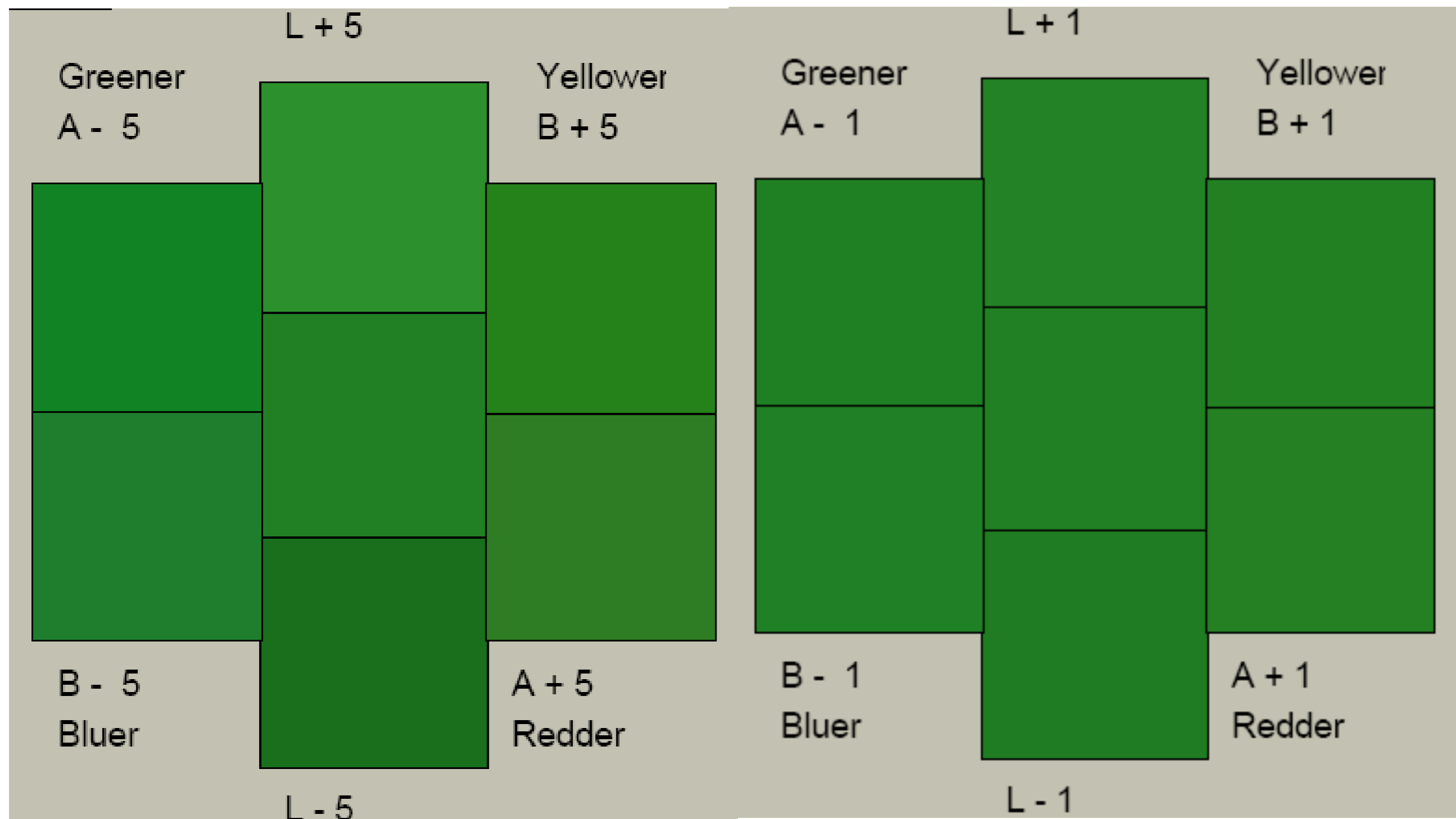
$$\Delta E^*_{ab}=20$$



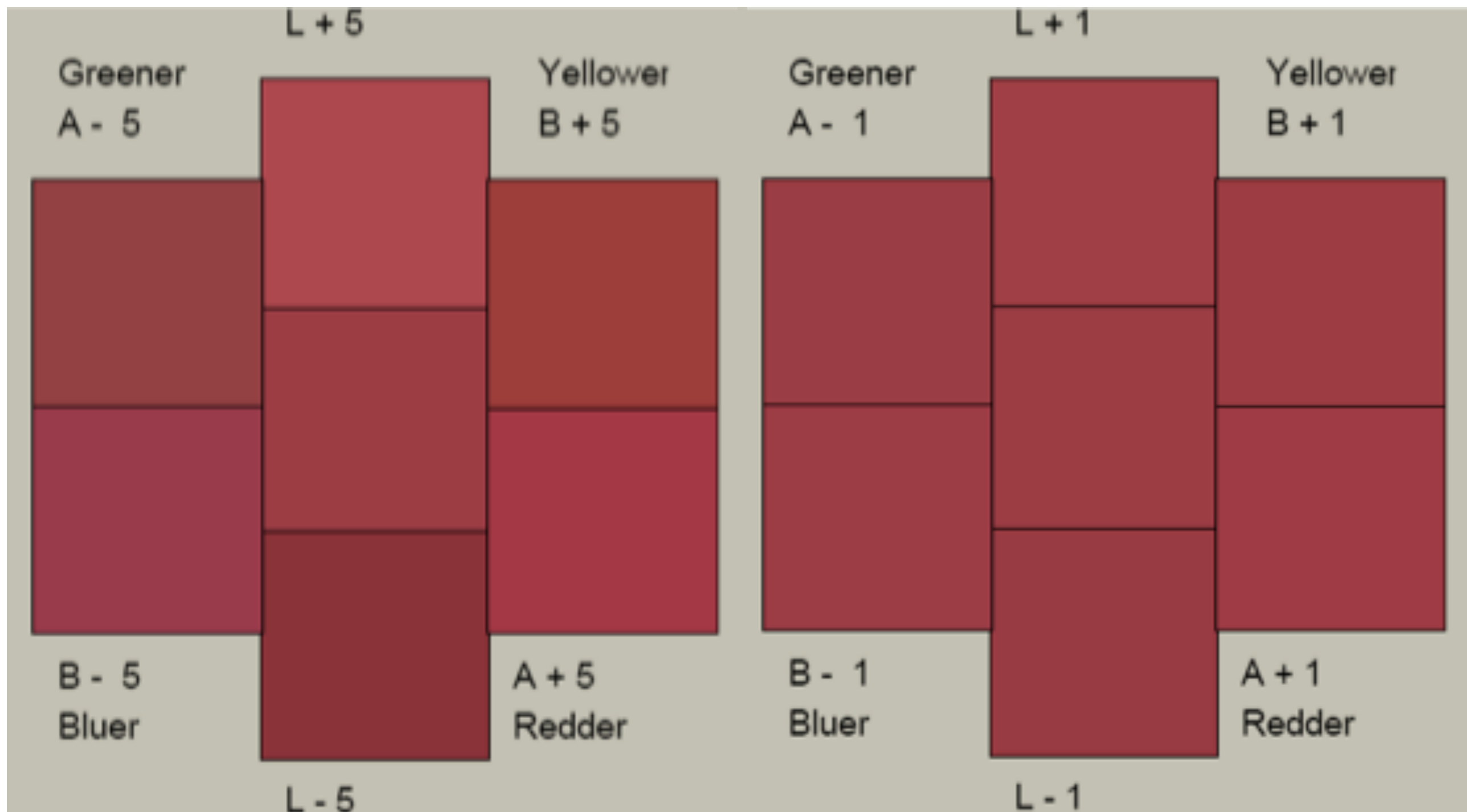
$$\Delta E_{XYZ}=4,3$$

$$\Delta E^*_{ab}=20$$

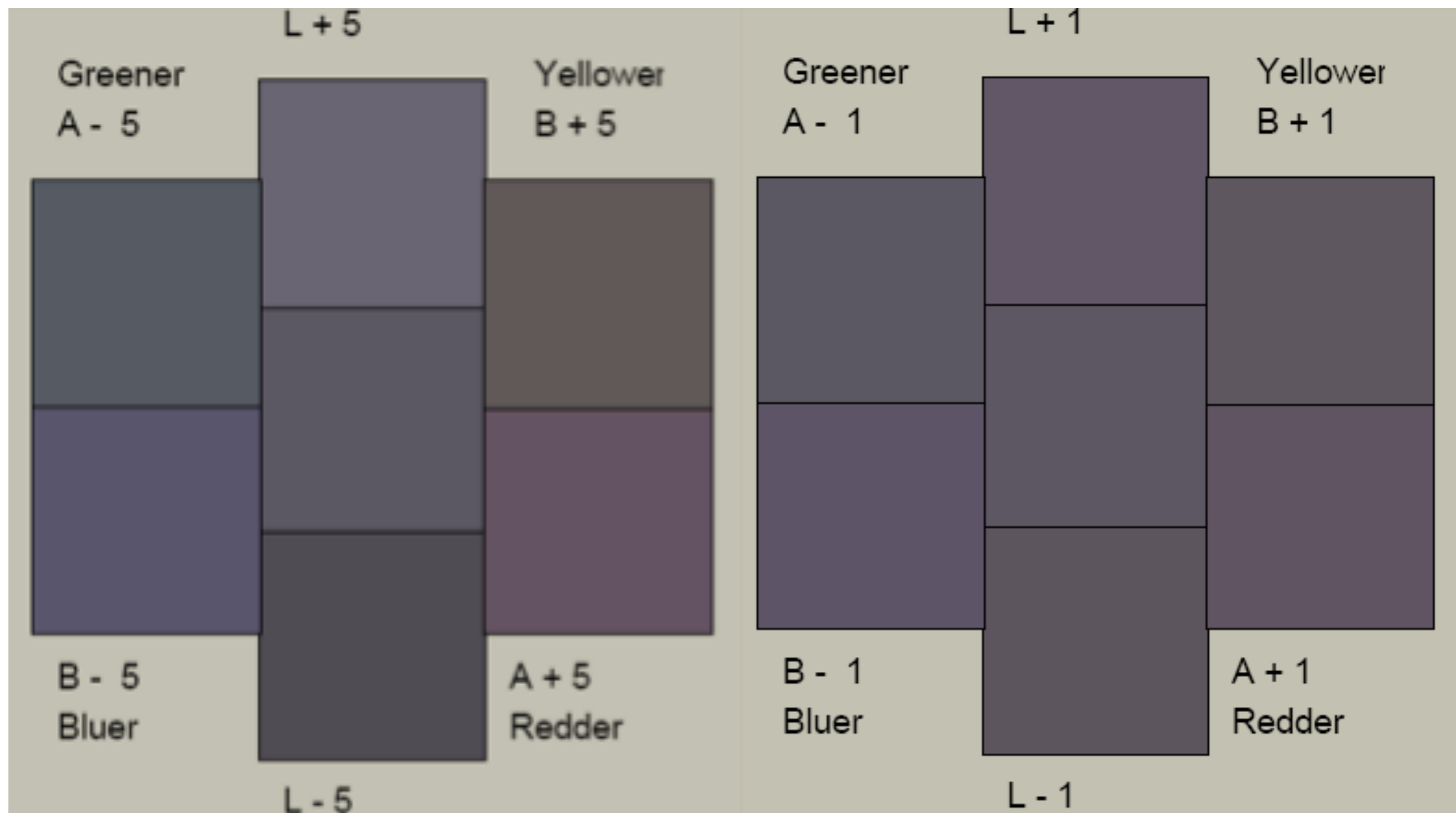
Vizuálně nesterjnoměrné odstupňování kolorimetrické soustavy CIELAB I



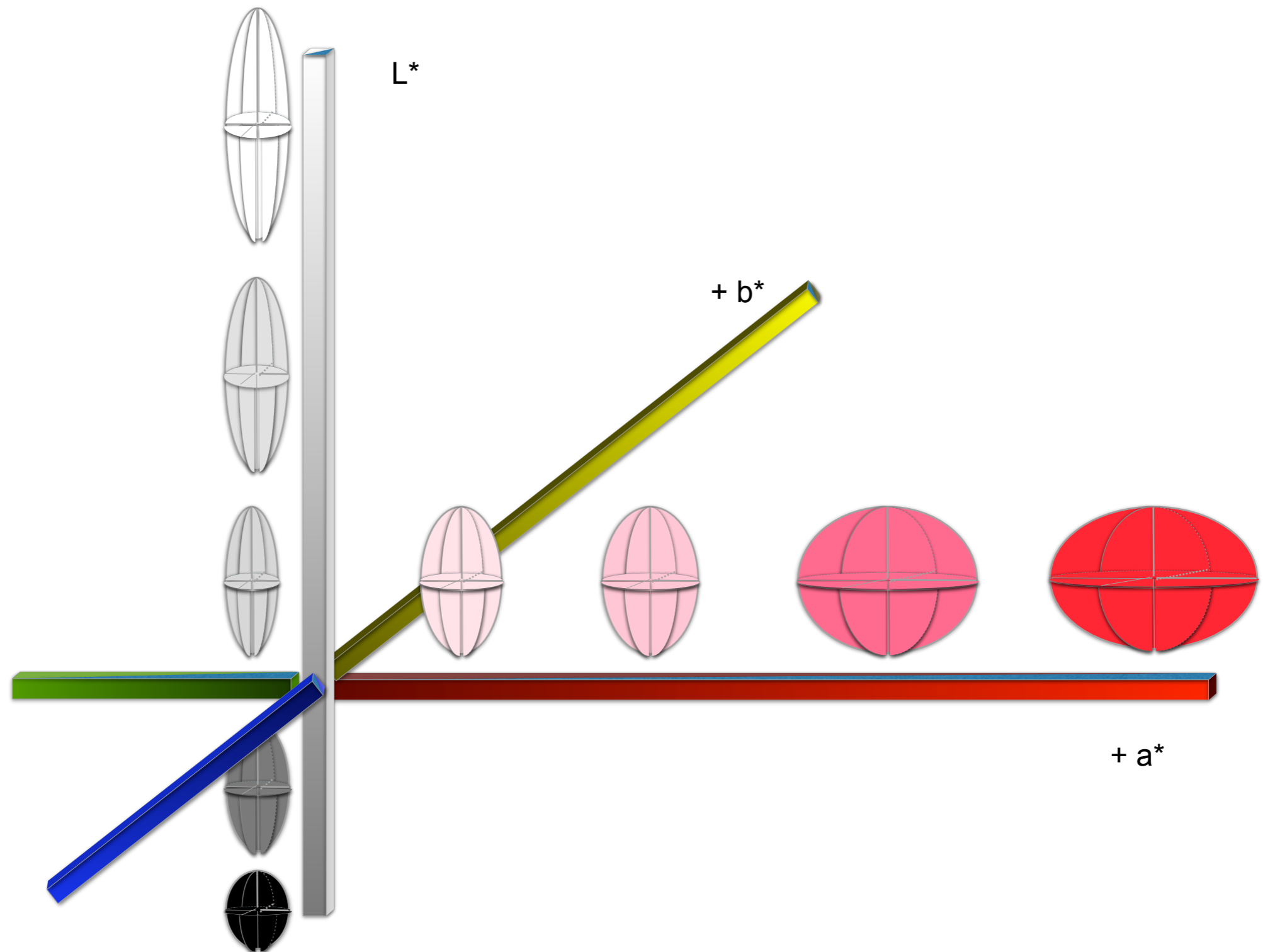
Vizuálně nesterjnoměrné odstupňování kolorimetrické soustavy CIELAB II



Vizuálně nestejněměrné odstupňování kolorimetrické soustavy CIELAB III



Vizuálně nesterjnoměrné odstupňování kolorimetrické soustavy CIELAB IV



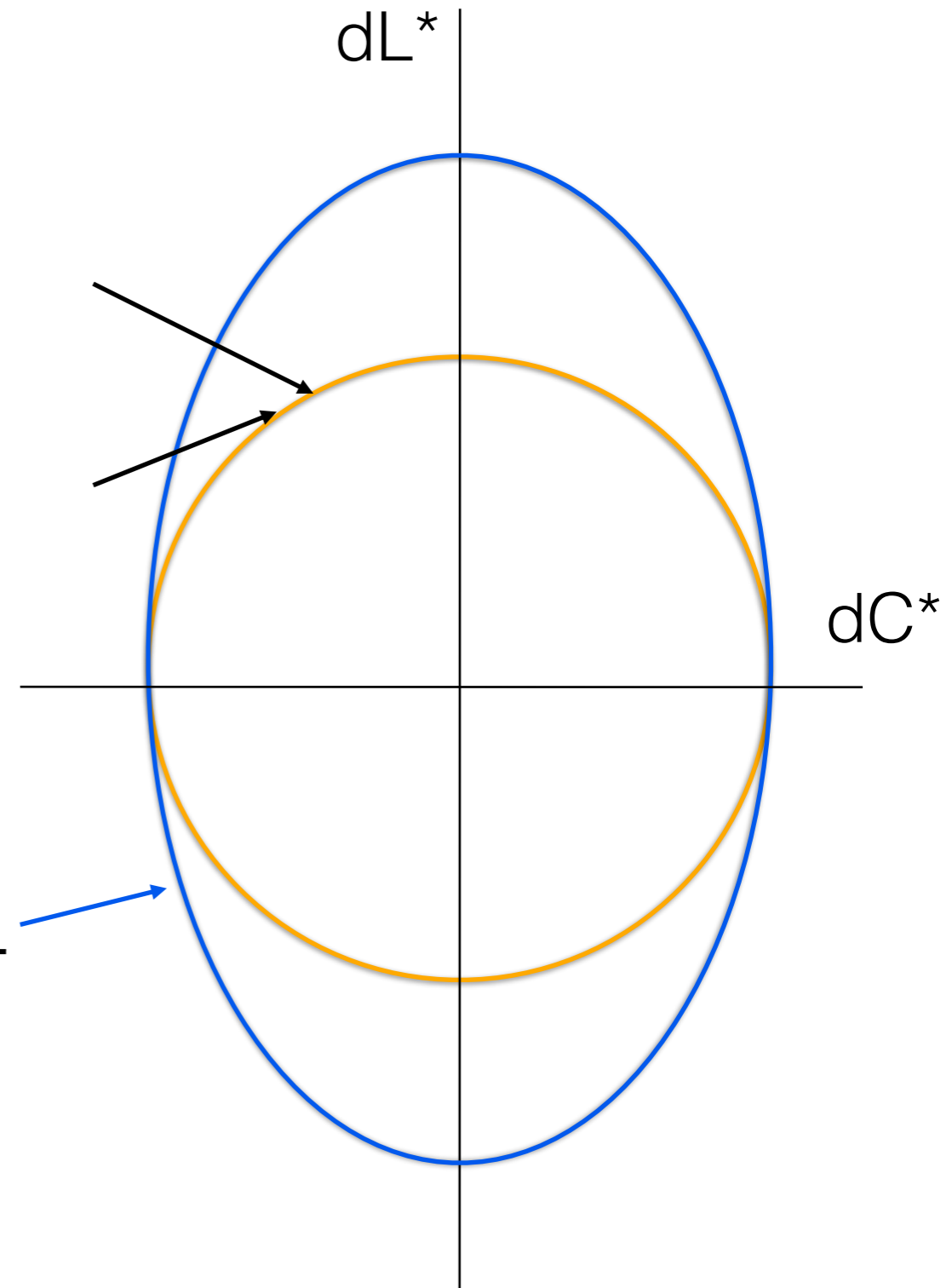
Tvar tolerančního útvaru

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

||

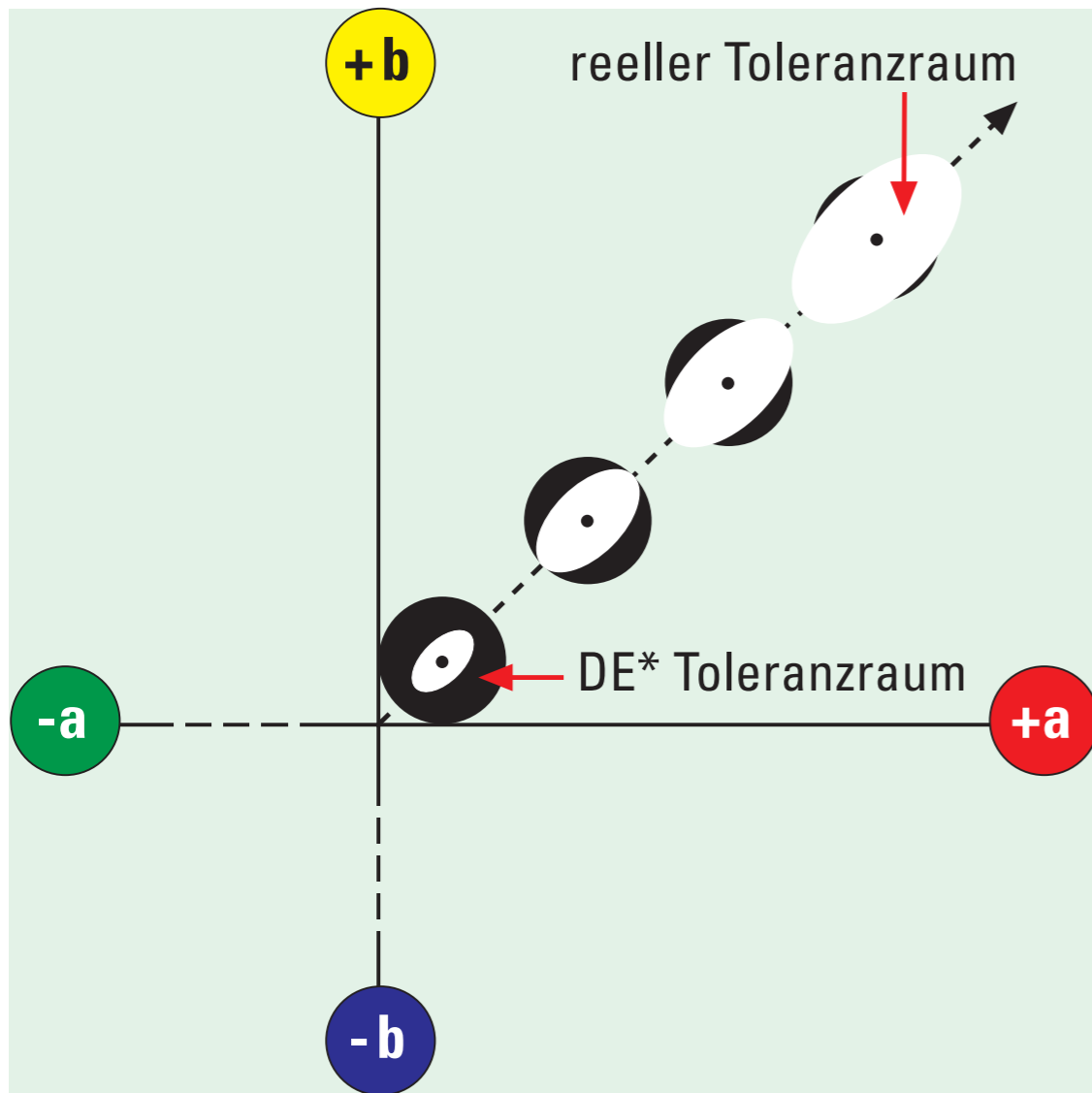
$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{1}\right)^2 \left(\frac{\Delta H}{1}\right)^2}$$

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{1}\right)^2 \left(\frac{\Delta H}{1}\right)^2}$$



CMC (l:c) (1984)

$$\Delta E_{CMC(l:c)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{l \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{c \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{S_H}\right)^2}$$



$$S_L = \frac{0,040975 \cdot L^*}{1 + 0,01765L^*}$$

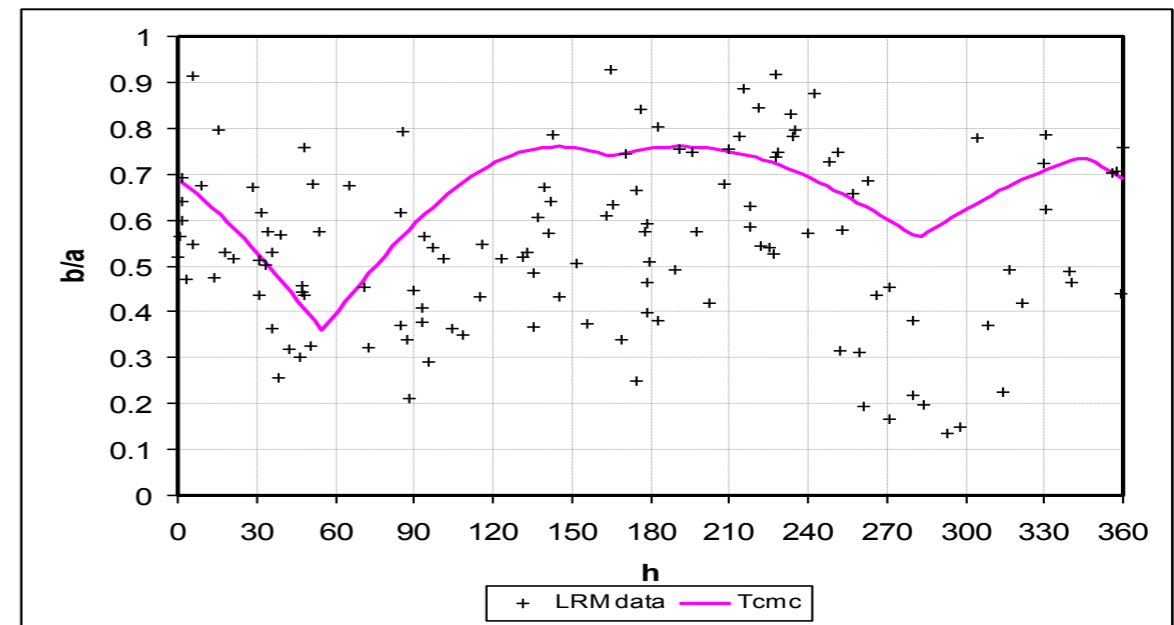
$$L^* \leq 16$$

$$S_L = 0,511$$

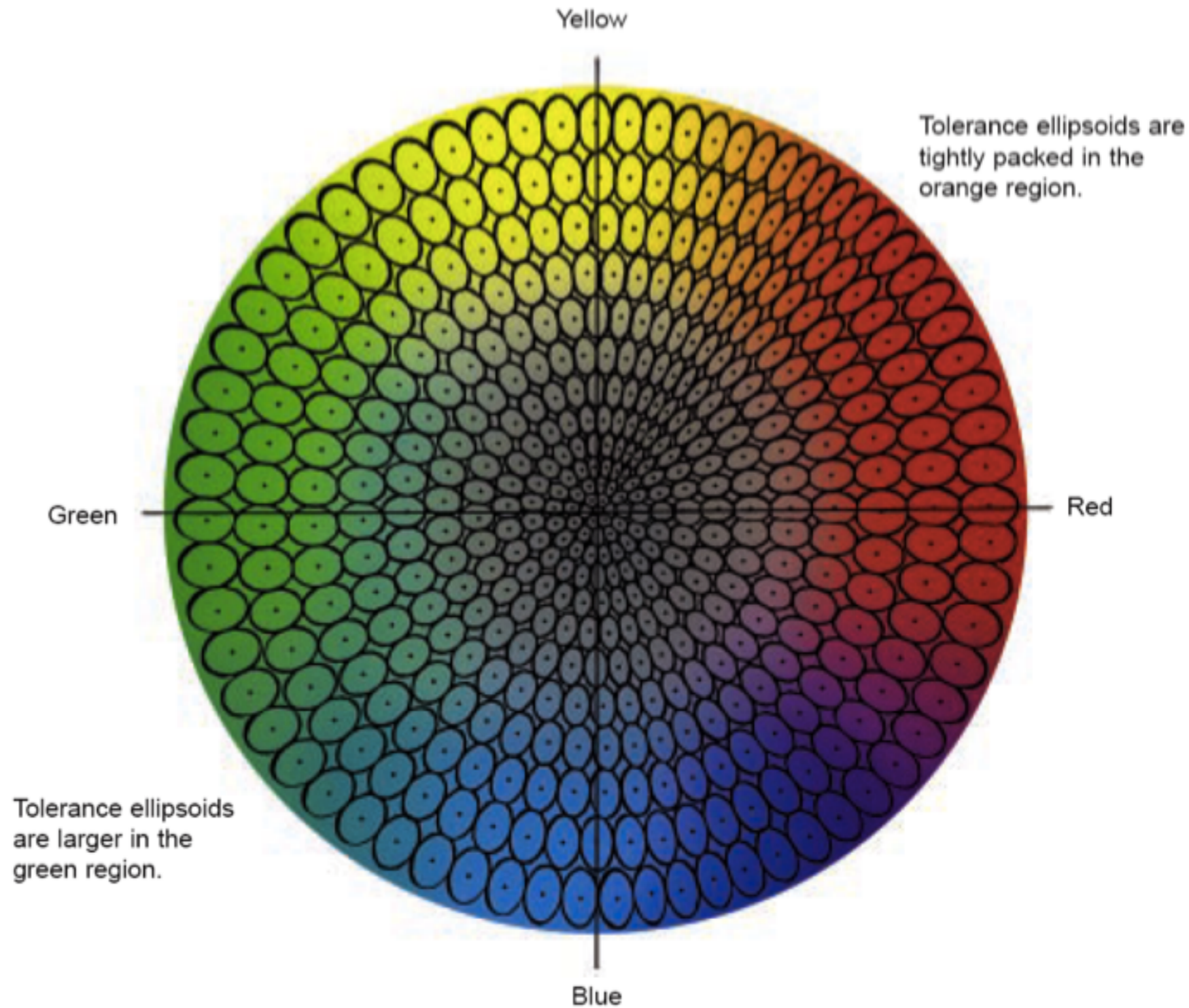
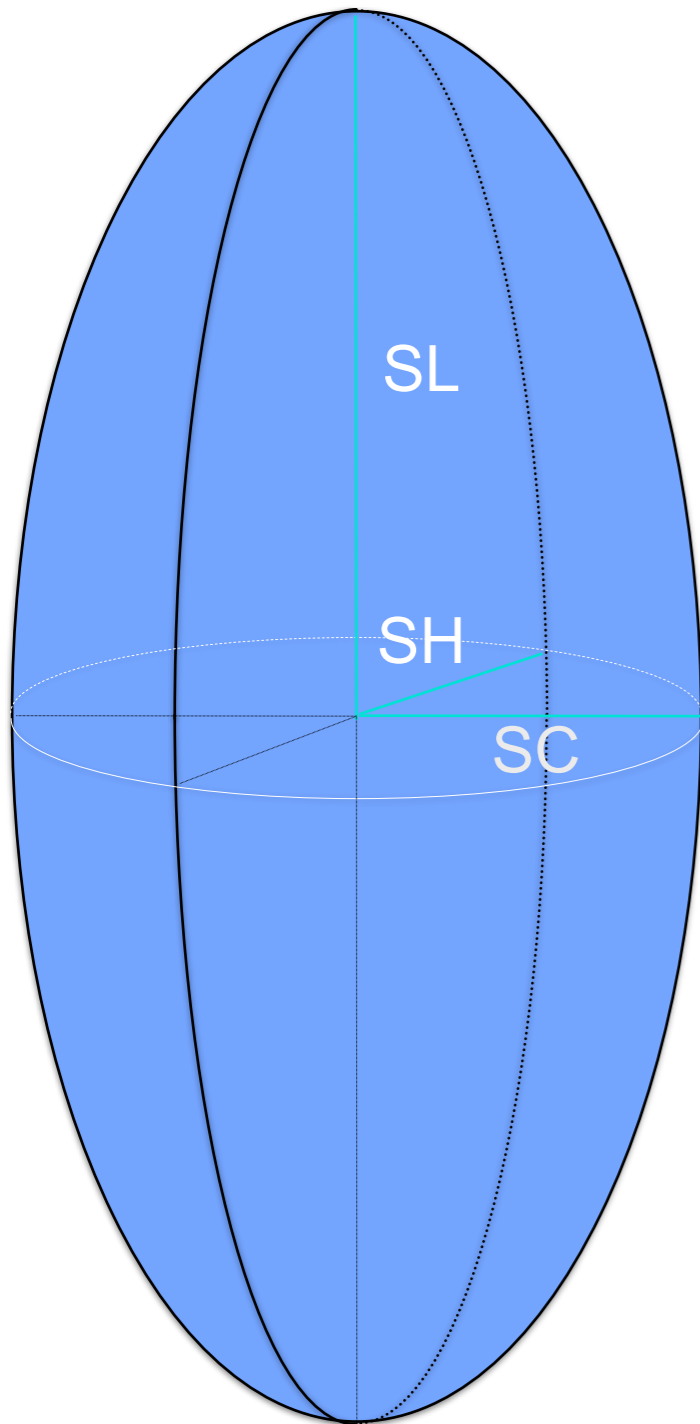
$$S_C = \frac{0,0638 \cdot C^*}{1 + 0,0131C^*} + 0,638$$

$$f = \sqrt{\frac{(C^*)^4}{(C^*)^4 + 1900}}$$

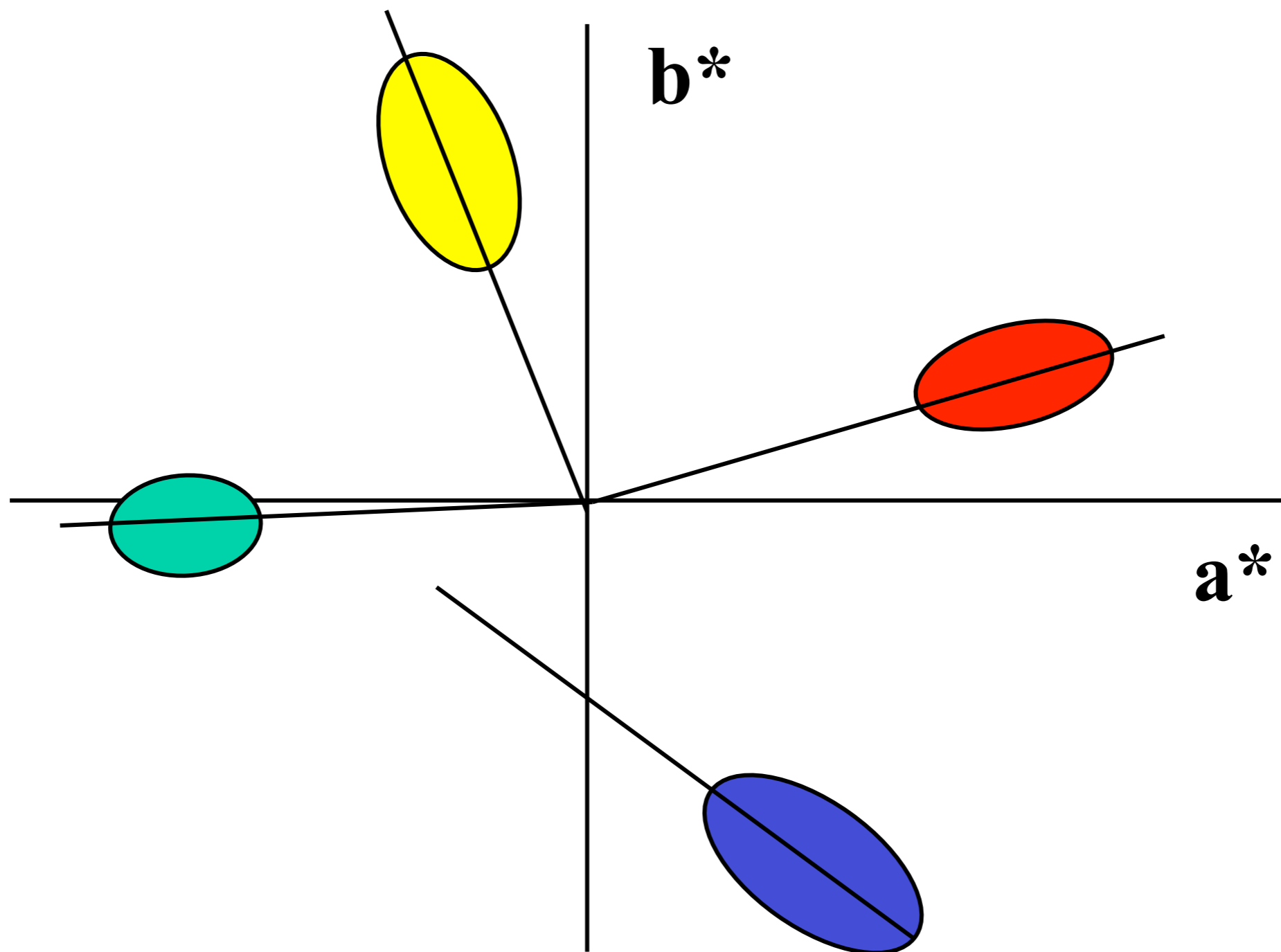
$$S_H = S_C \cdot (T \cdot f + 1 - f)$$



CMC (*l:c*) (1984)



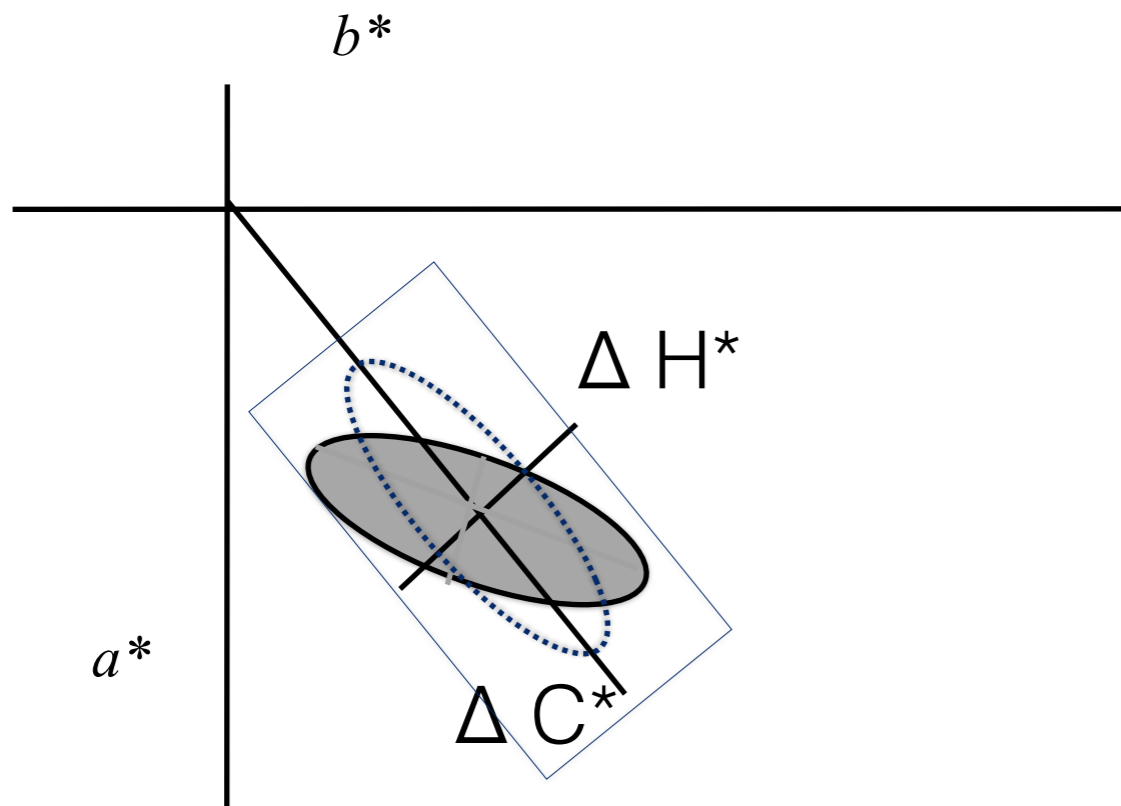
Problém orientace hlavní osy tolerančních elipsoidů v modré oblasti



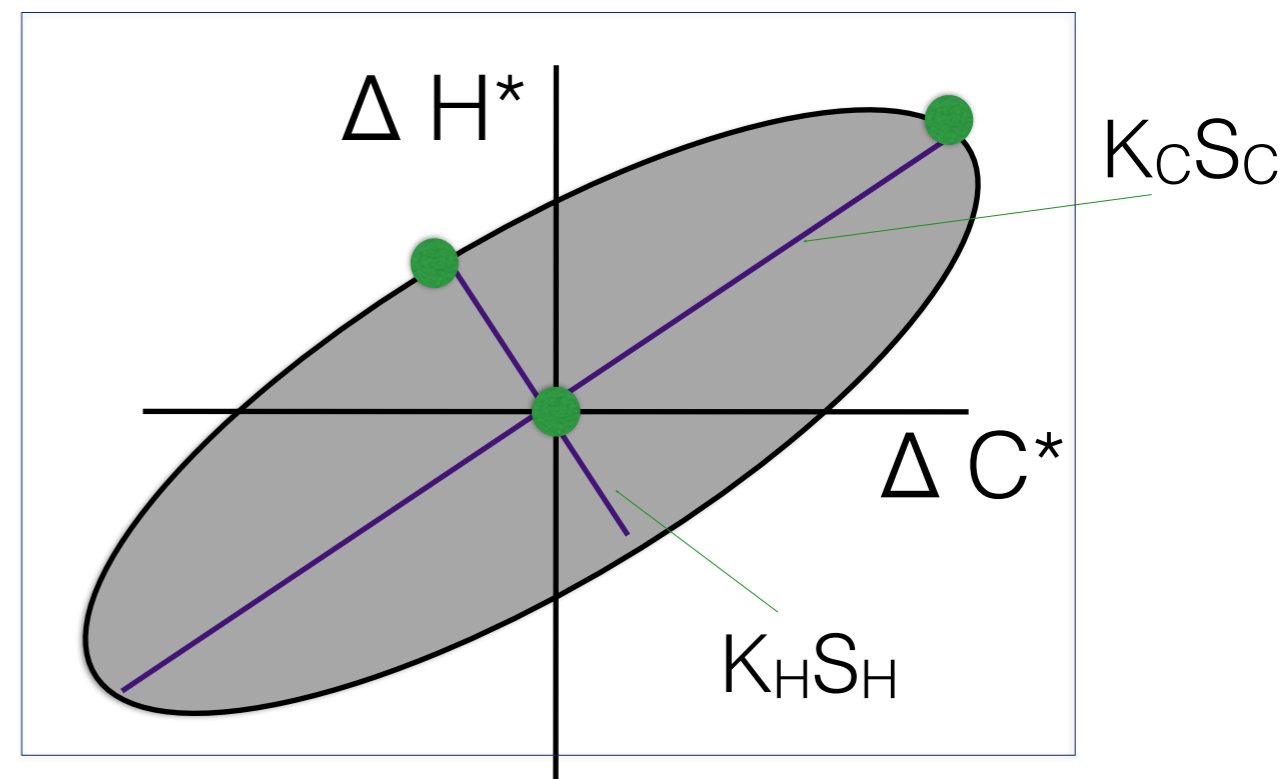
CIE2000 I

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)}$$

Macro-prostor (a^* vs b^*)



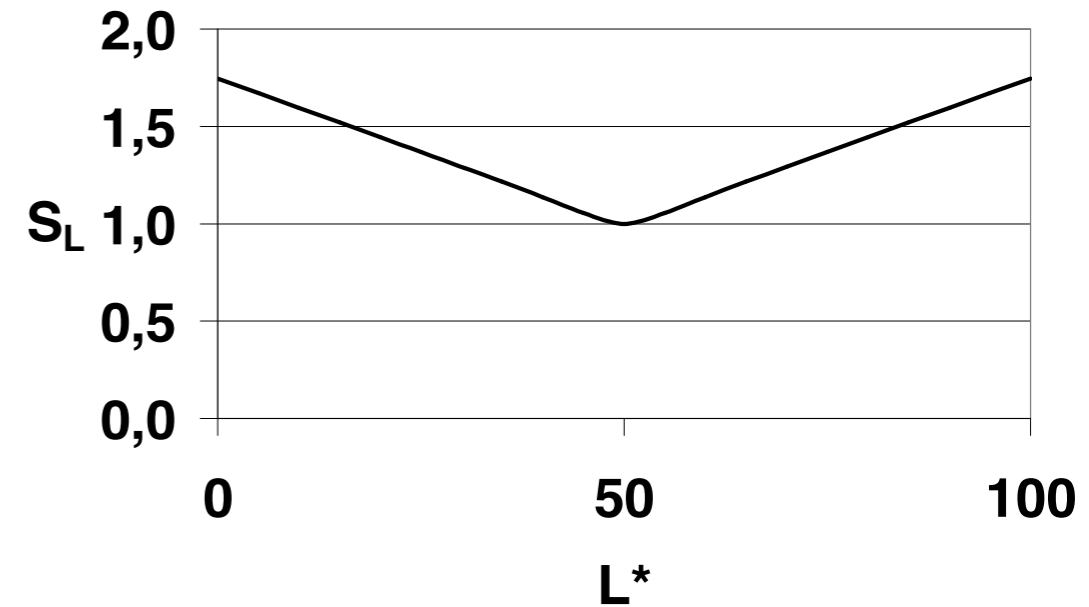
Micro-prostor (ΔC^* vs ΔH^*)



CIE2000 II



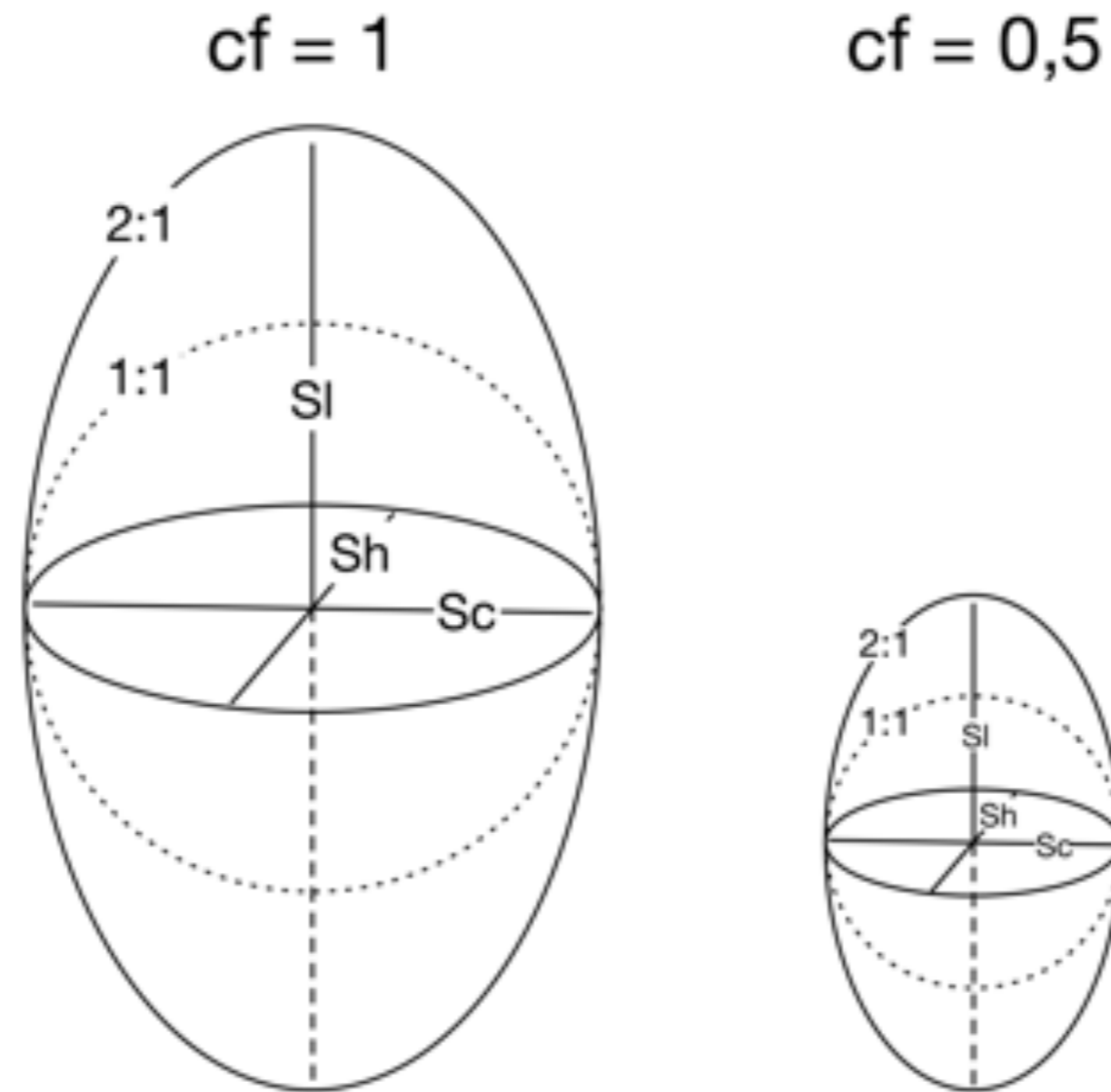
Crispening



$$S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}$$

Funkce adjustace tolerance v měrné světlosti

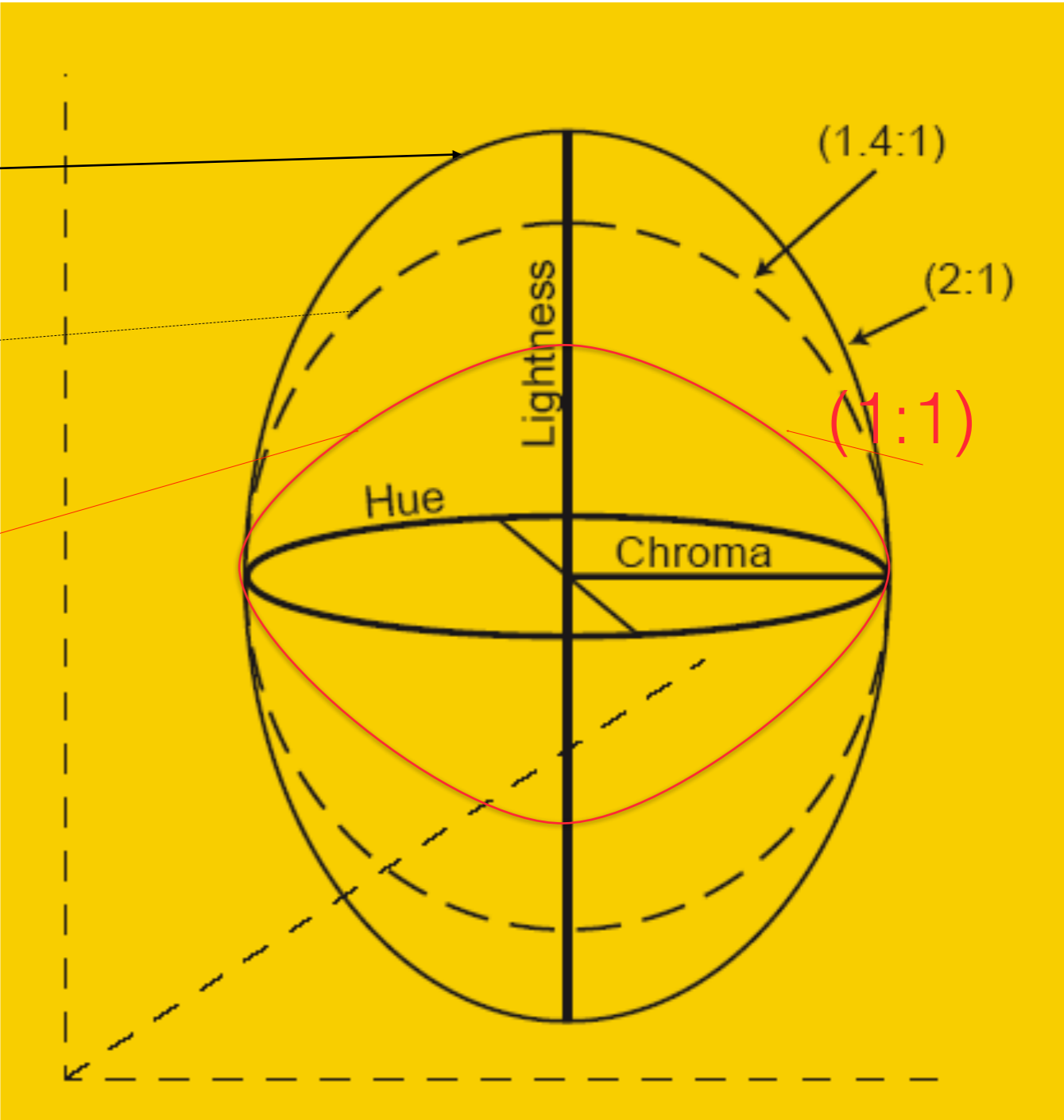
Nastavení rovnic pro výpočty barevných rozdílů I (komerční faktor cf)



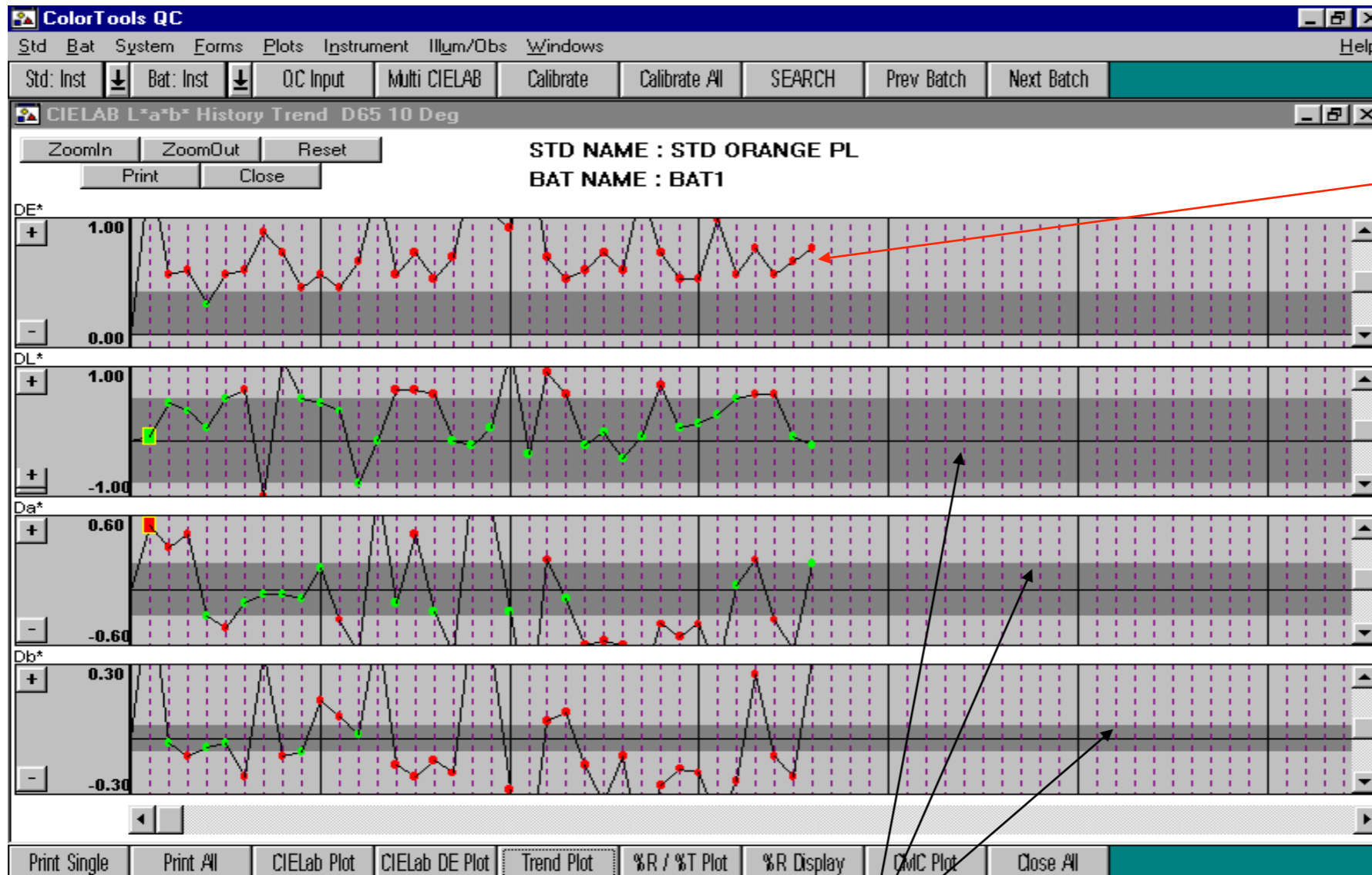
Komerční faktor cf je hodnotou tolerované ΔE

Nastavení rovnic pro výpočty barevných rozdílů II (poměr světlost/čistota = l/c)

Textilie
Plasty
Laky
a automobilový
průmysl



Analýza trendových dat

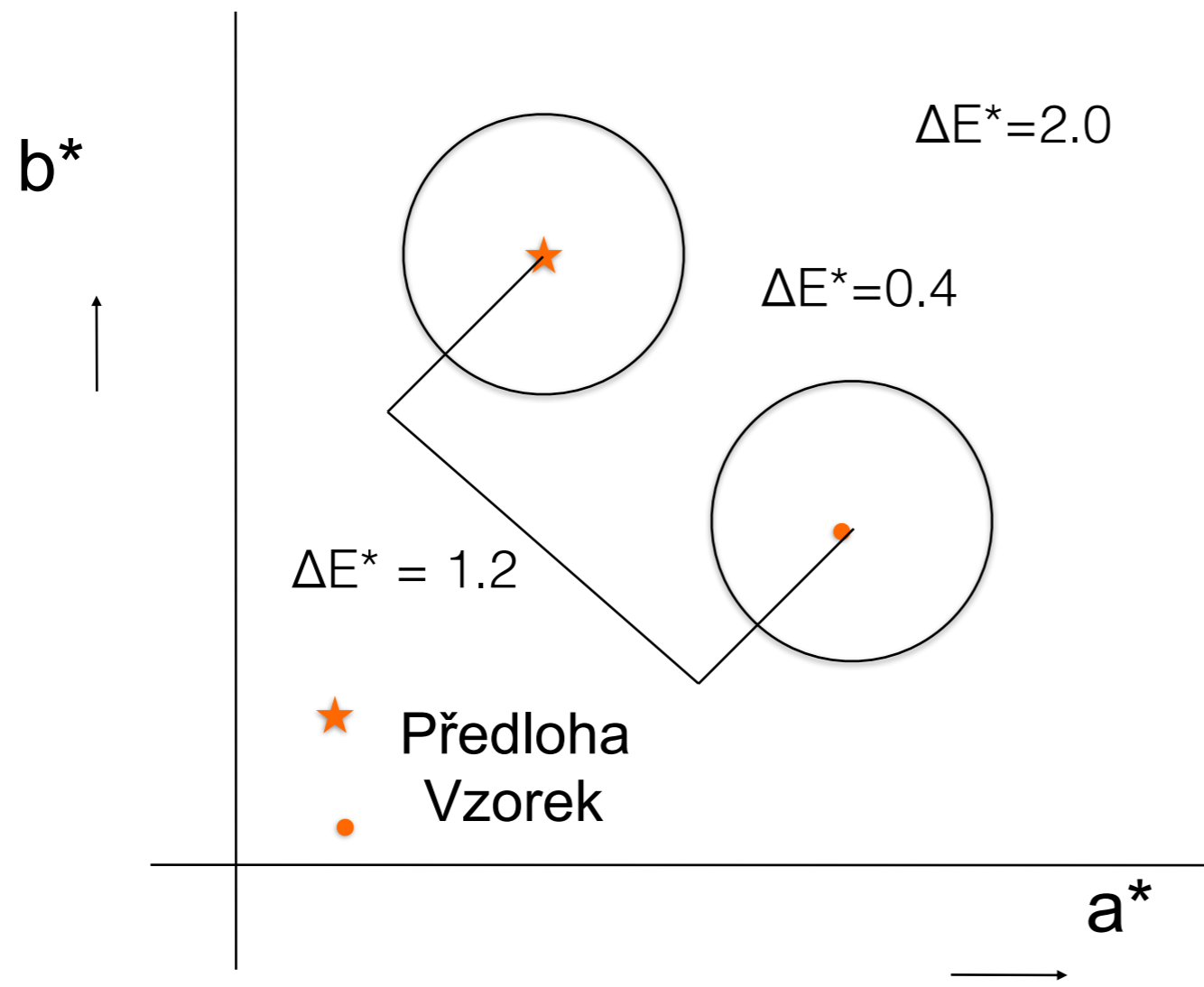


Většina dat je nad $cf=0,5 \rightarrow$

**Změna cf
představuje velké
riziko !!!**

Stejný postup lze použít i v případě dalších parametrů

Praktický výsledek měření barevných rozdílů I problém chyby měření – naměřené hodnoty nejsou absolutní !!!



Pokud je absolutní
barevný rozdíl :

a chyba měření odpovídající
0.4 jednotky ΔE^*
**(platí jak pro vzorek, tak
pro předlohu !!!)**

pak naměřená ΔE^* je v
rozmezí [0.4, 2.0] !!!

Je nutno snížit chybu měření pod 0,1 ΔE

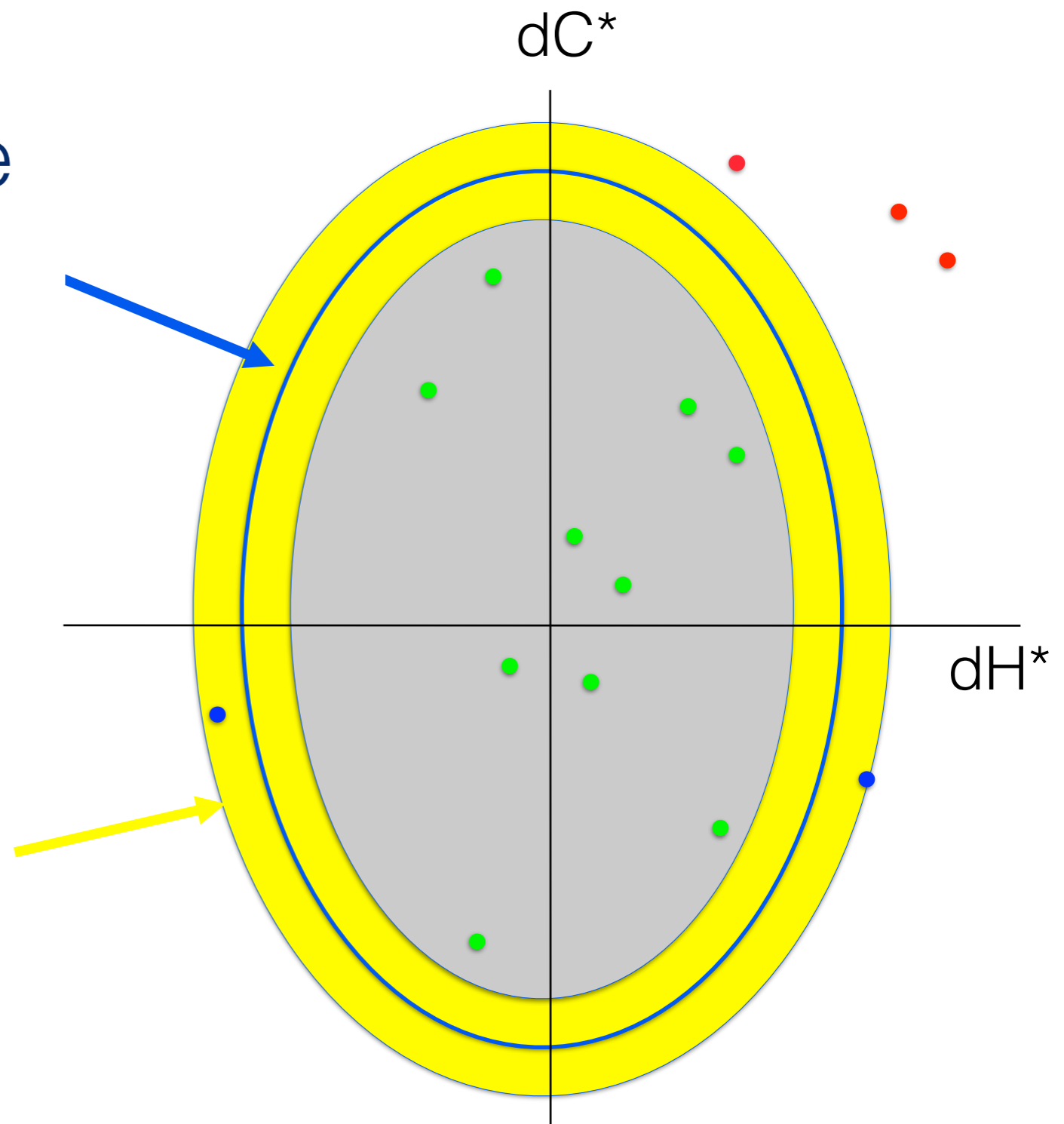
Praktický výsledek měření barevných rozdílů II

Průmyslová tolerance

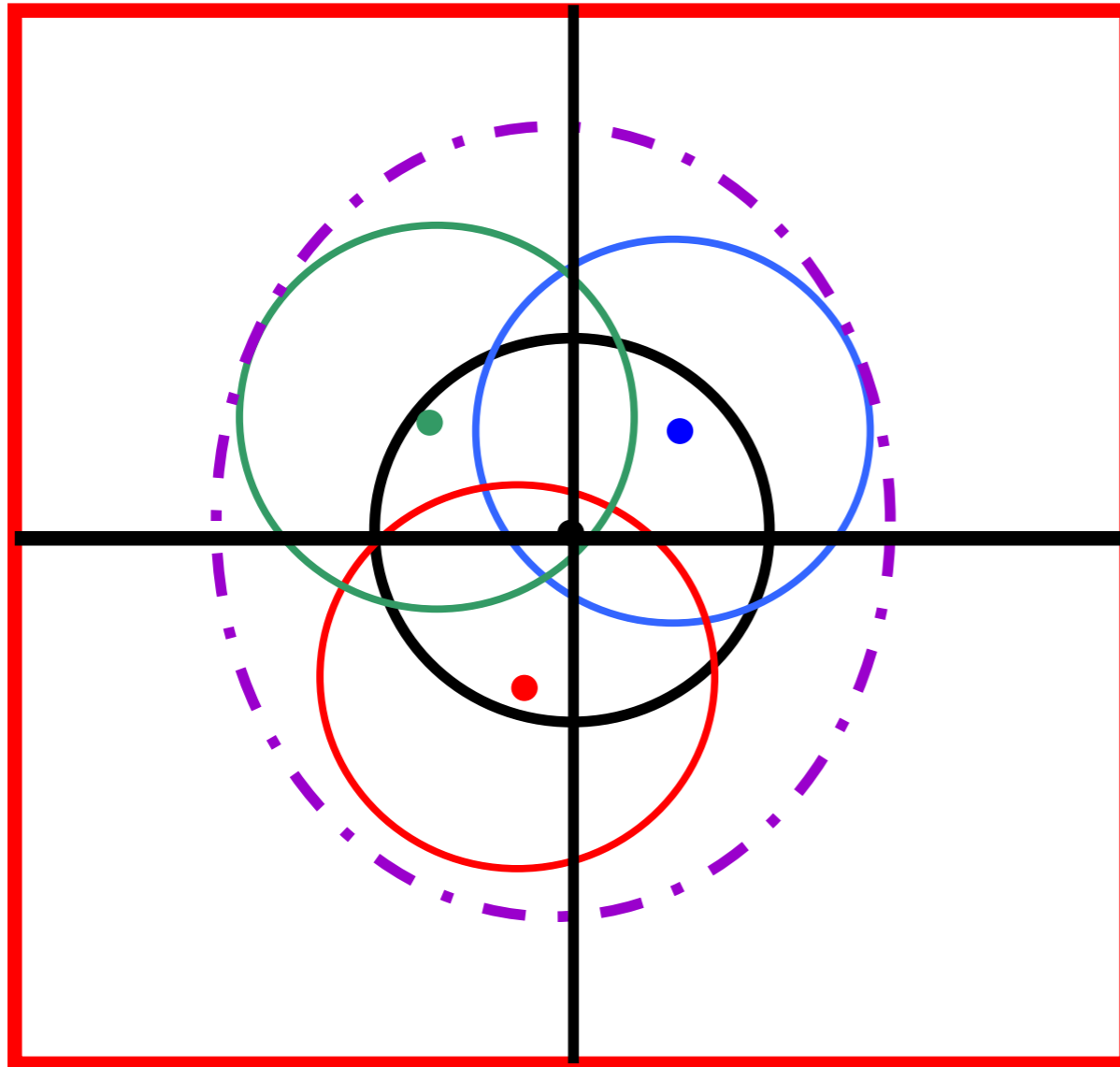
Verbální hodnocení barevných rozdílů :

- Vzorek je přijatelný - PASS
- Vzorek je ke zvážení – WARN
- Vzorek je nepřijatelný - FAIL

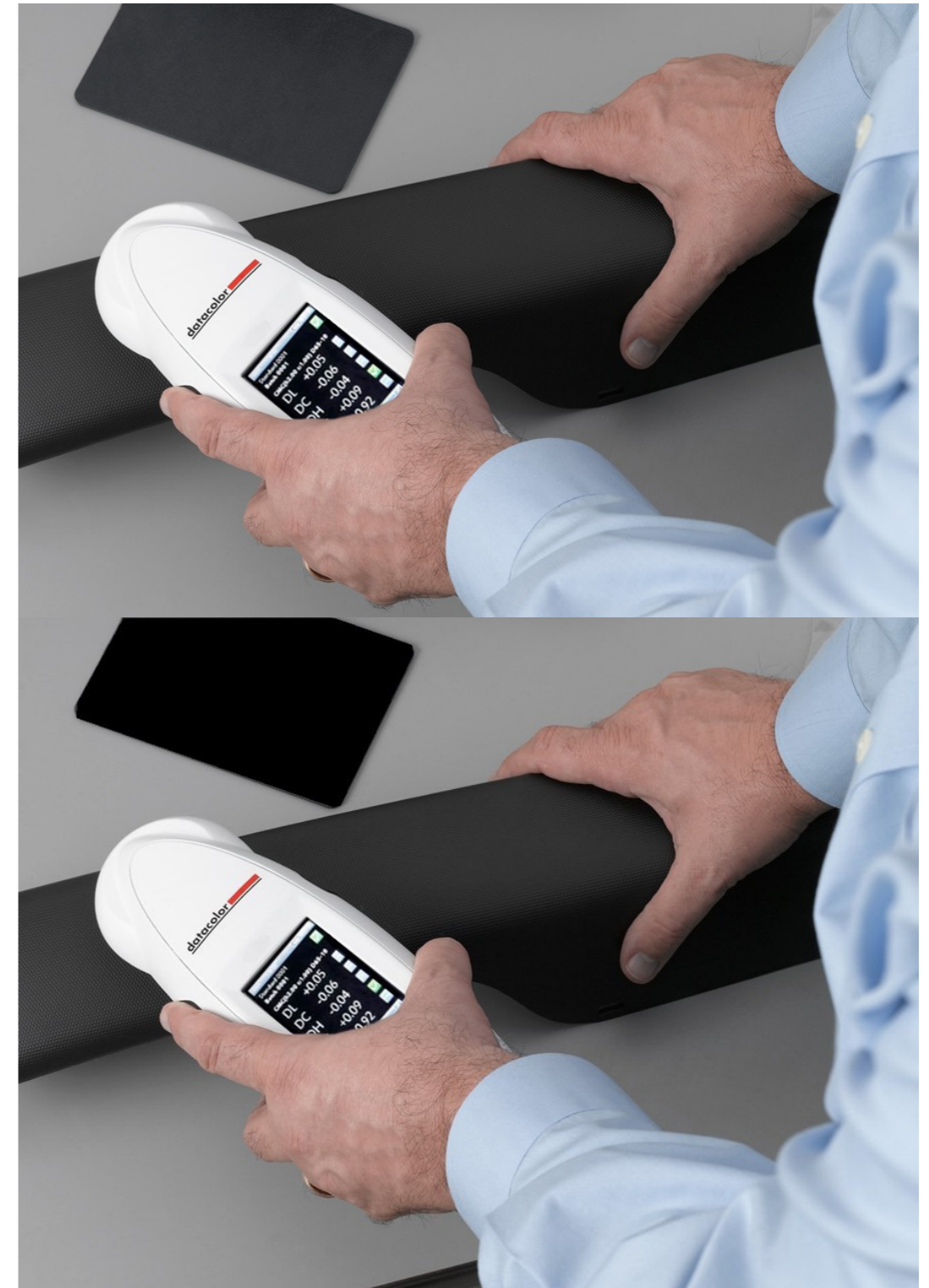
Marginální pásmo
Oblast hodnot ΔE ,
které je nutno překontrolovat
<0.9 ; 1.1>



Praktický výsledek měření barevných rozdílů III



V případě, že jednotlivé provozní standardy jsou vyráběny s určitou tolerancí, dochází k rozšiřování výrobní tolerance. Tento problém lze řešit výrobou dostatečně velkého počtu primárních standardů.



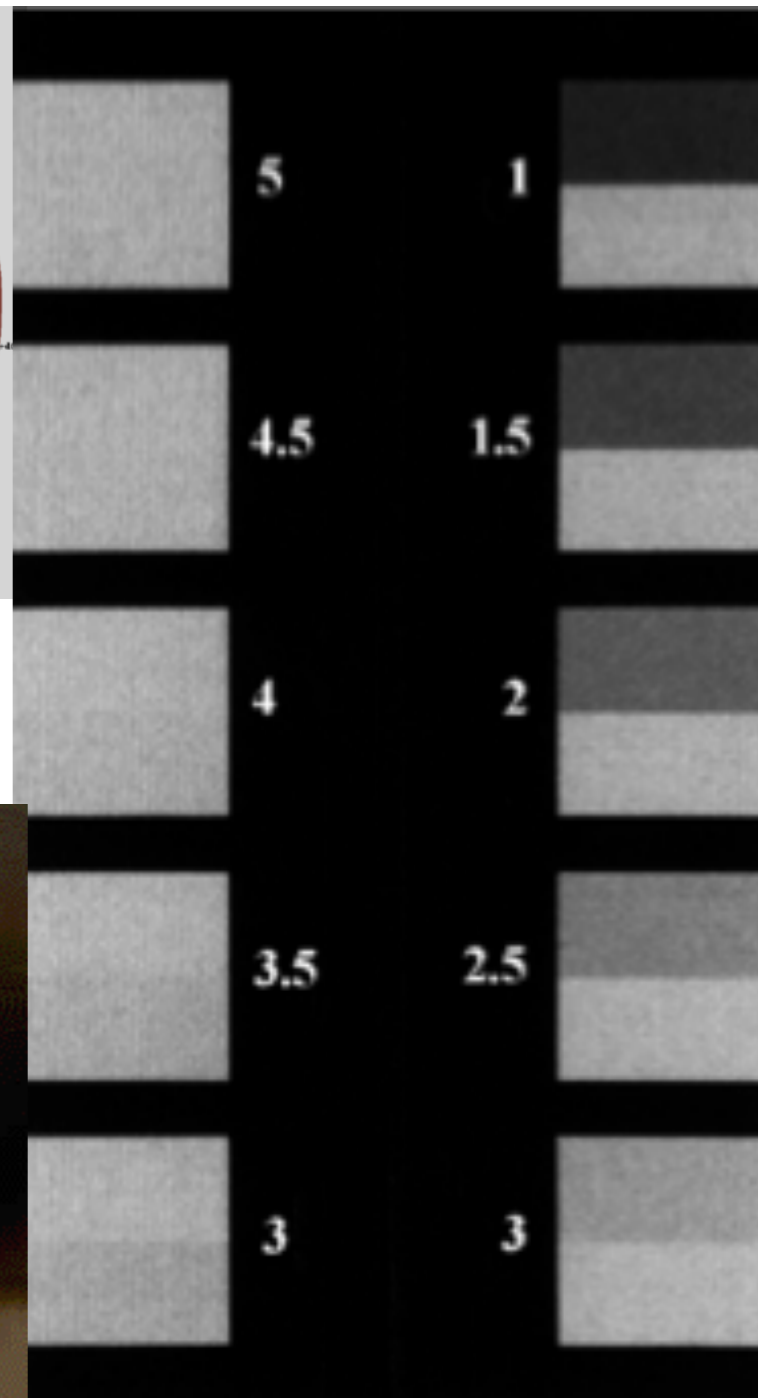
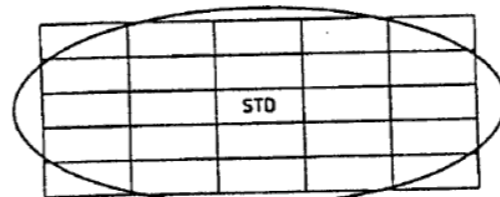
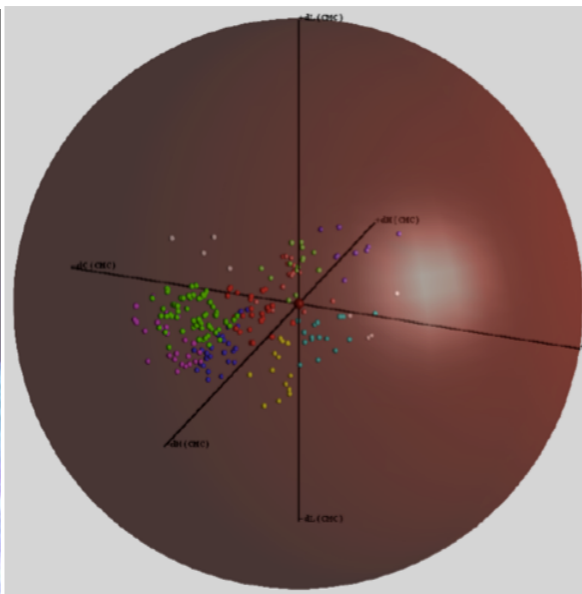
Nejistota měření



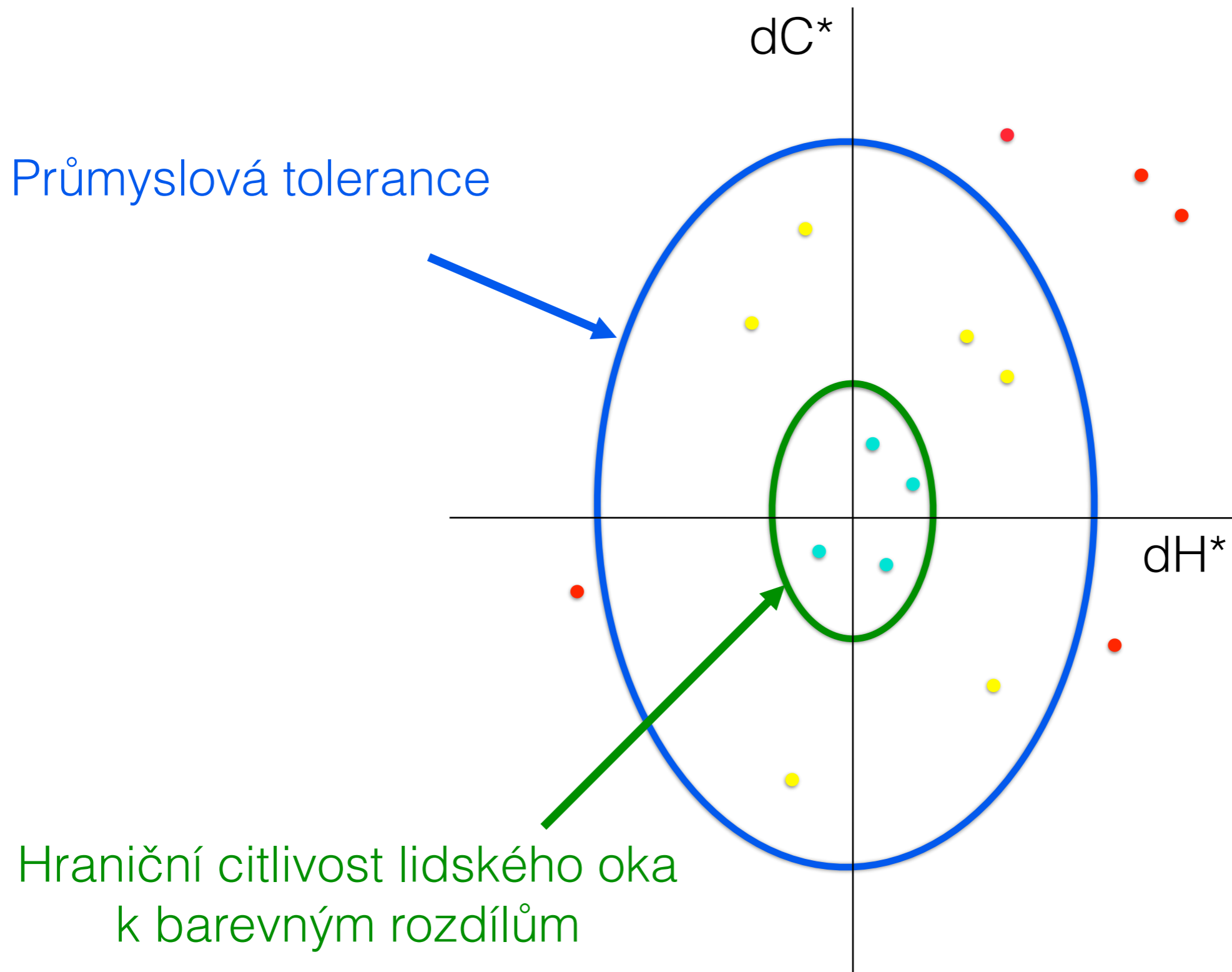
Třikrát měř a jednou řež

pozor na chyby obsluhy!!!

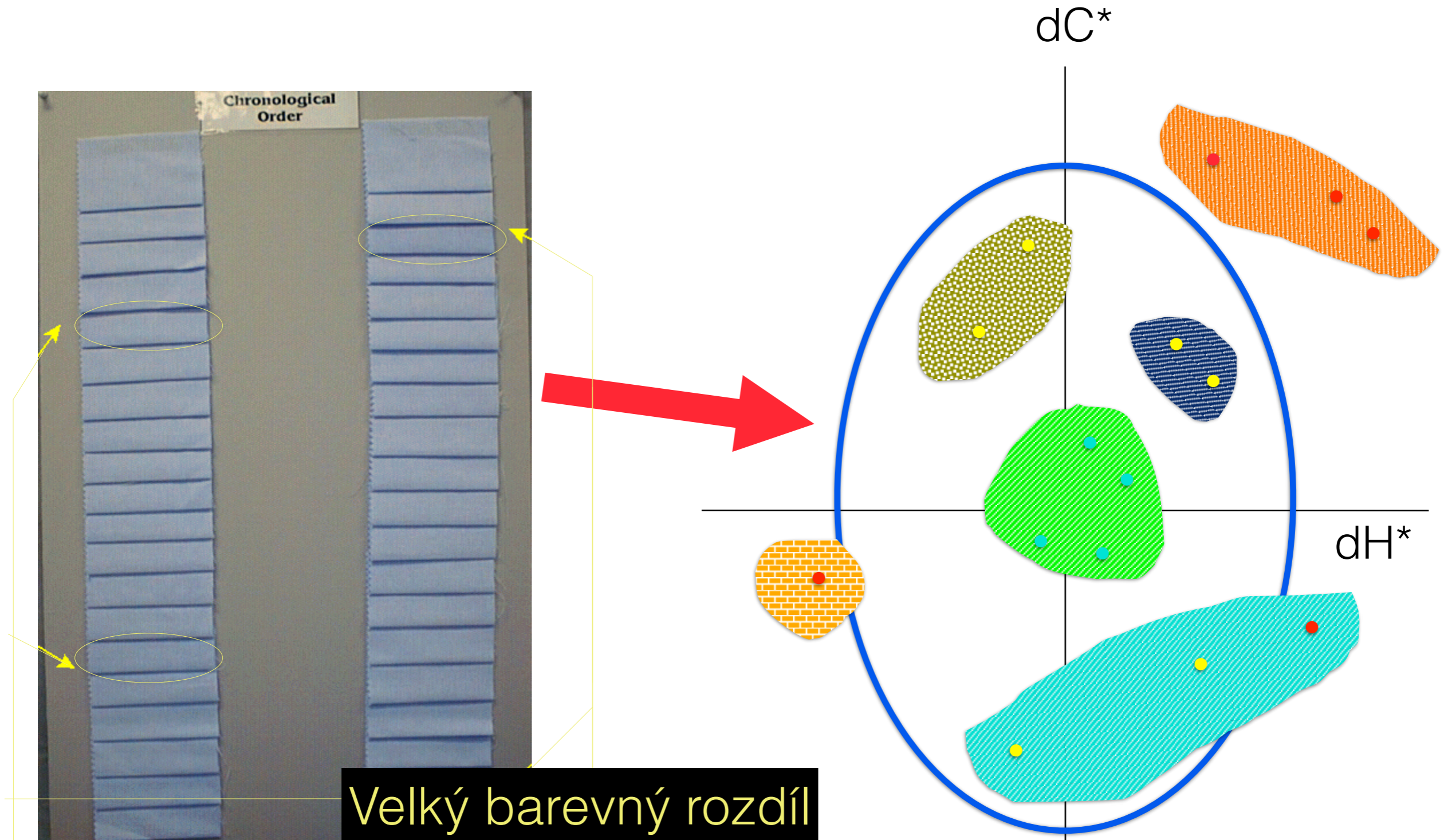
Indexy a odstínové třídění



Rozdíl mezi průmyslovou tolerancí a hraniční citlivostí - řešení je pomocí odstínového třídění

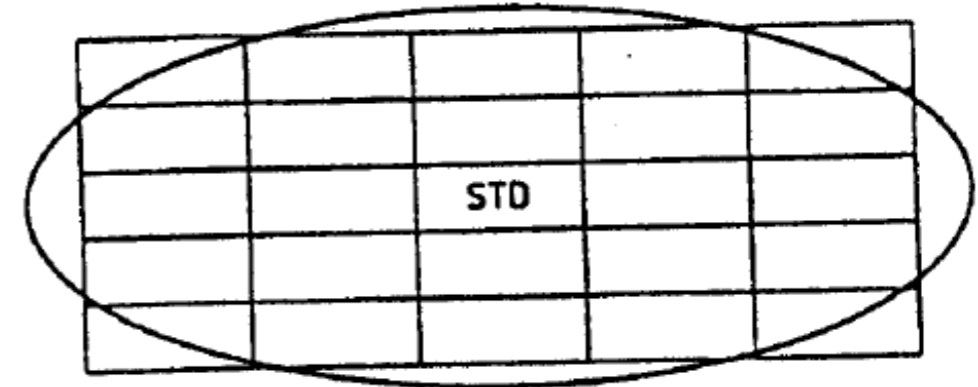
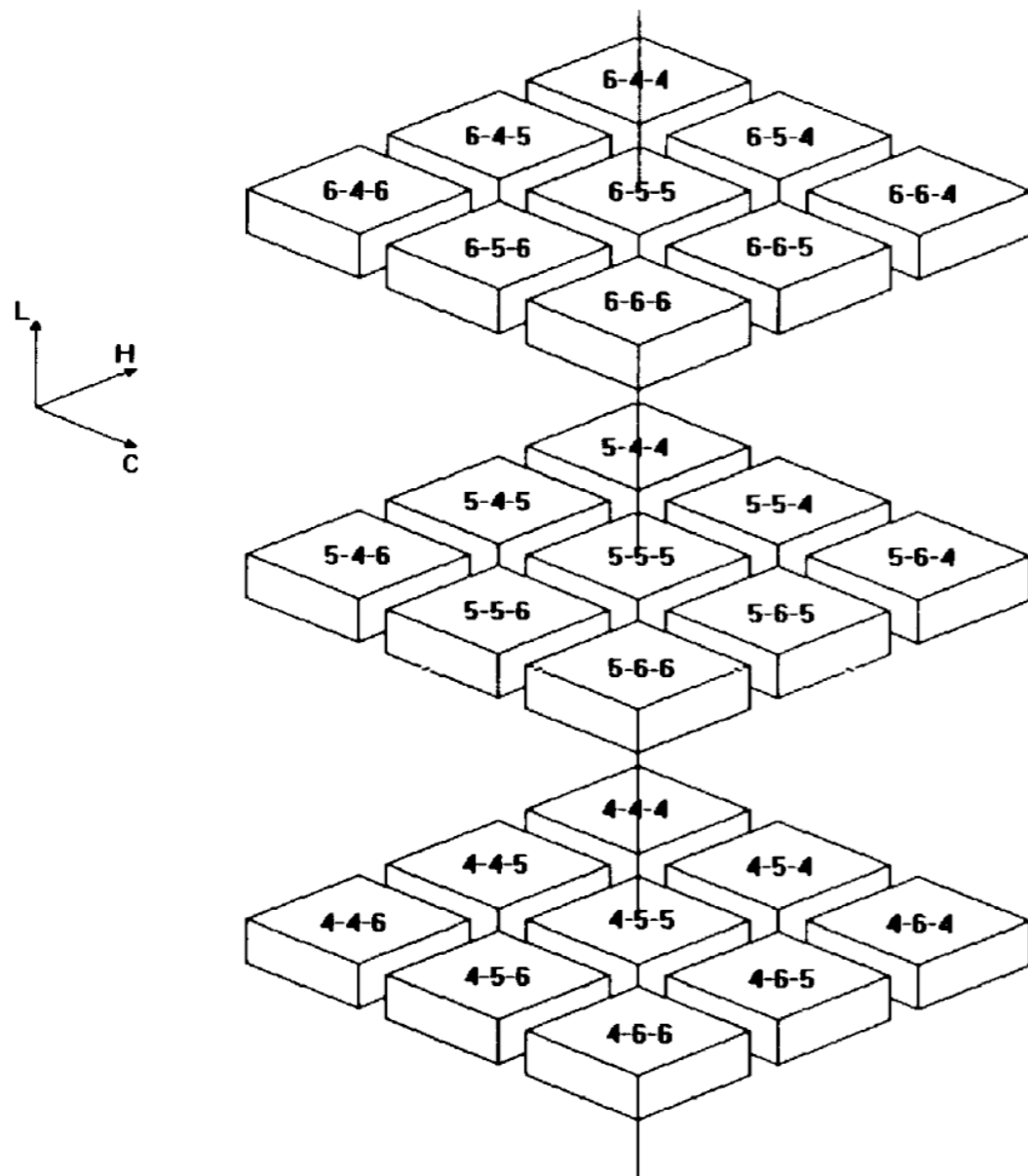


Vizuální třídění



Vizuální třídění je velmi náročné a provádí se na prohlížecích stolech nebo v koloristických skříních.

System 555 (1961 – Prof. Simon) I



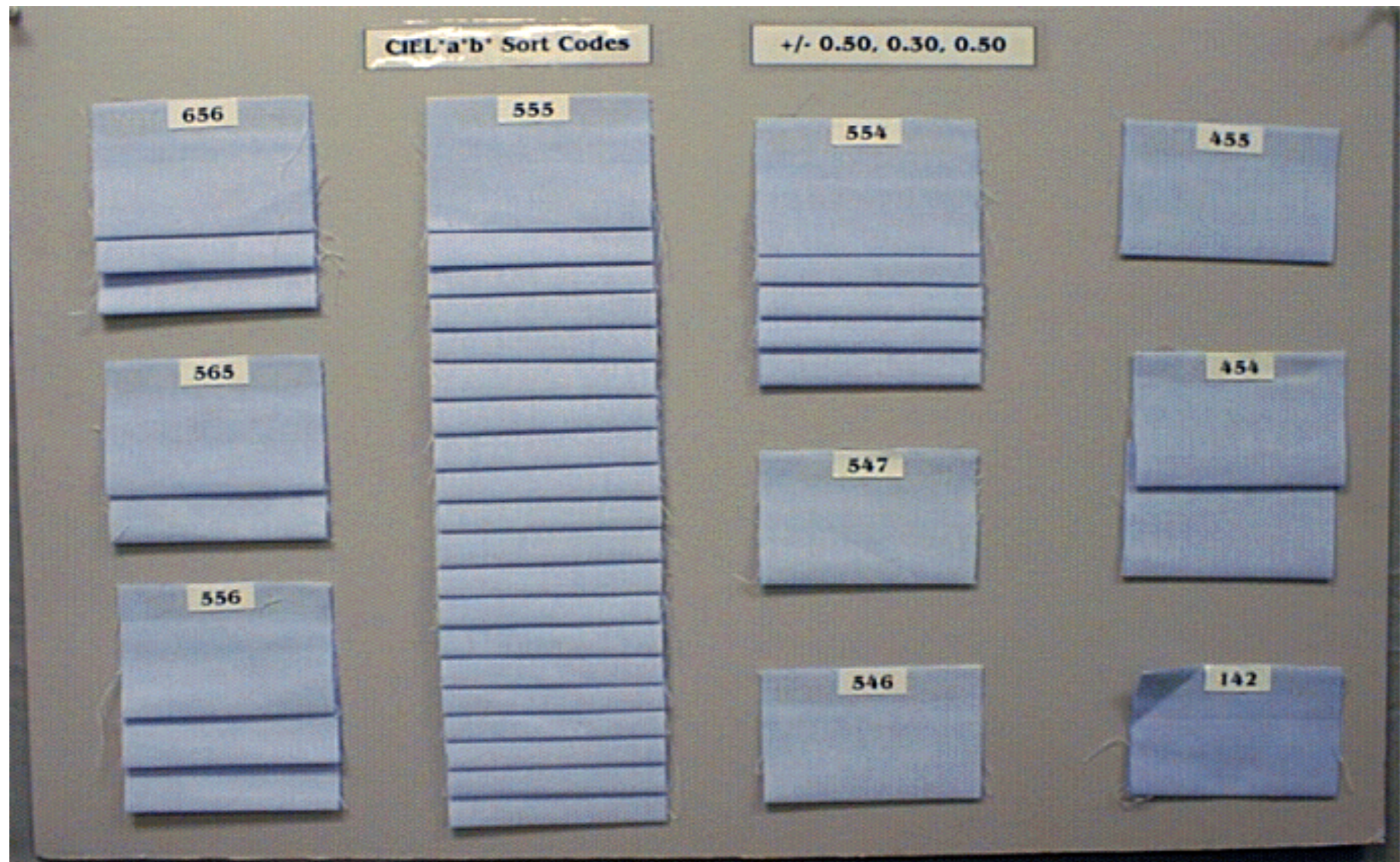
$$S = 100.N_L + 10.N_C + N_H,$$

$$N_L = \text{Integer} \left[\frac{\Delta L^*}{T_L} + 5,5 \right],$$

$$N_C = \text{Integer} \left[\frac{\Delta C^*}{T_C} + 5,5 \right],$$

$$N_H = \text{Integer} \left[\frac{\Delta H^*}{T_H} + 5,5 \right],$$

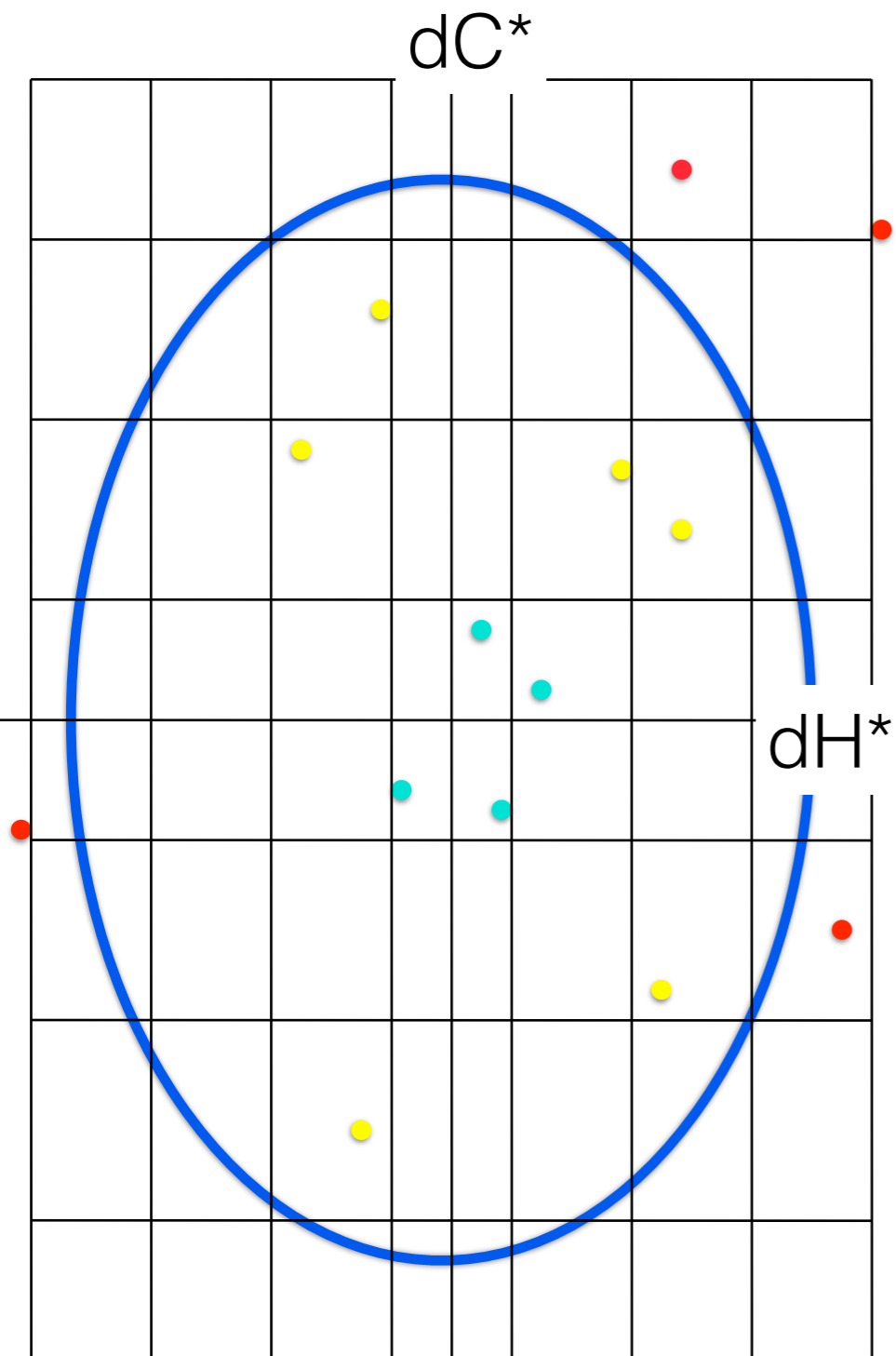
System 555 (1961 – Prof. Simon) II



Nevýhoda: vzniklo $10!$ skupin

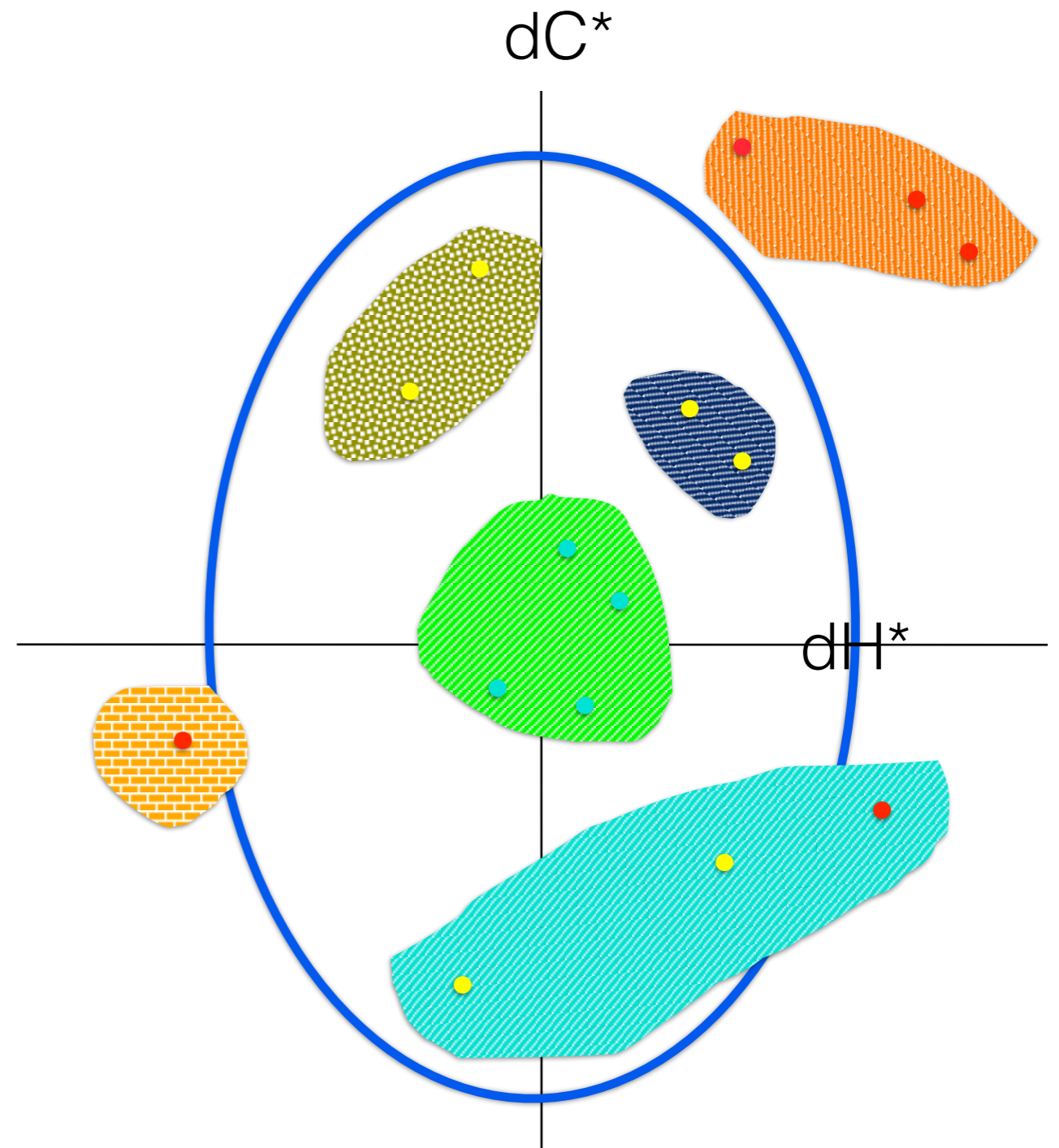
555 vs. vizuální třídění

Třídění 555



10 tříd (podskupin) !!!

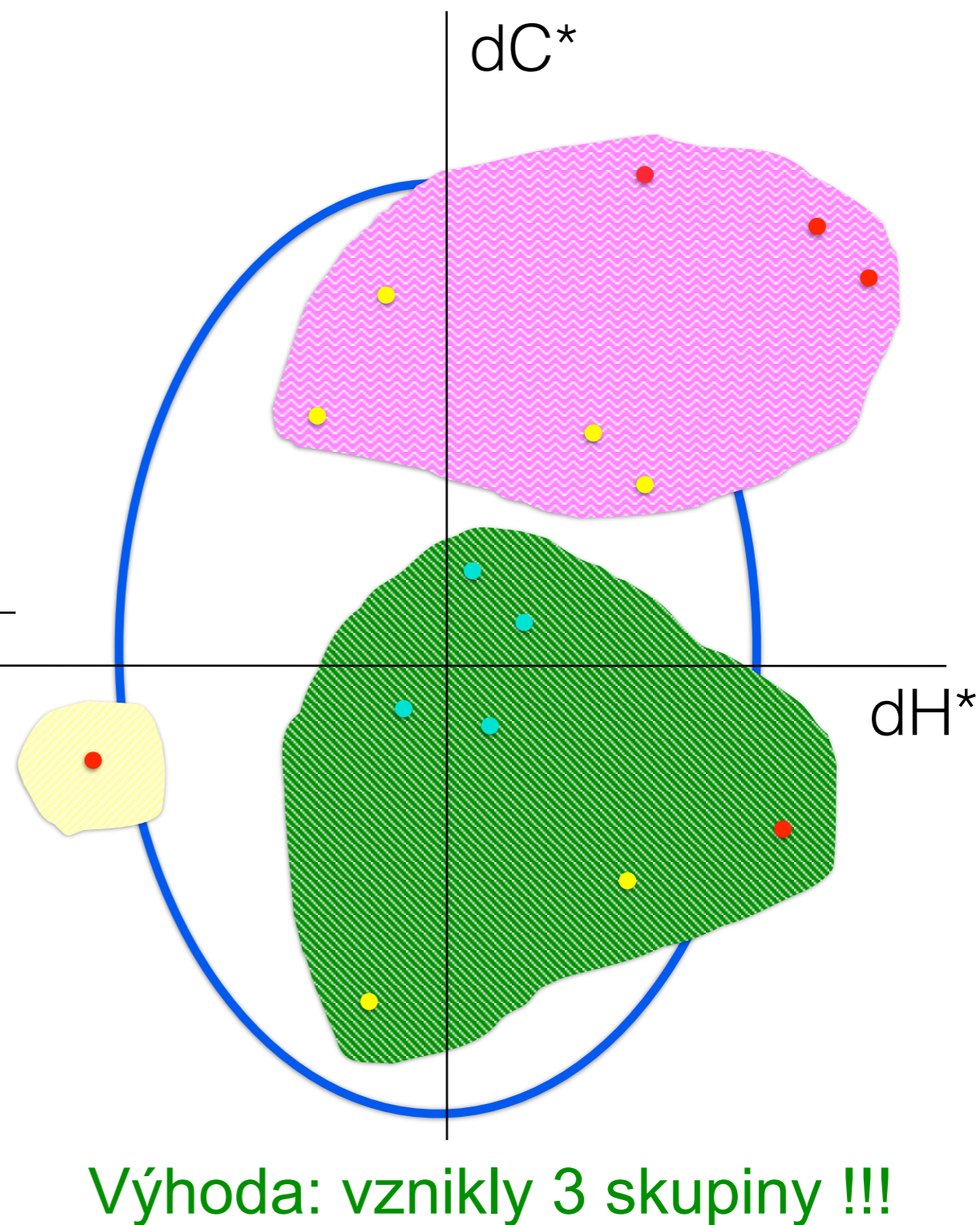
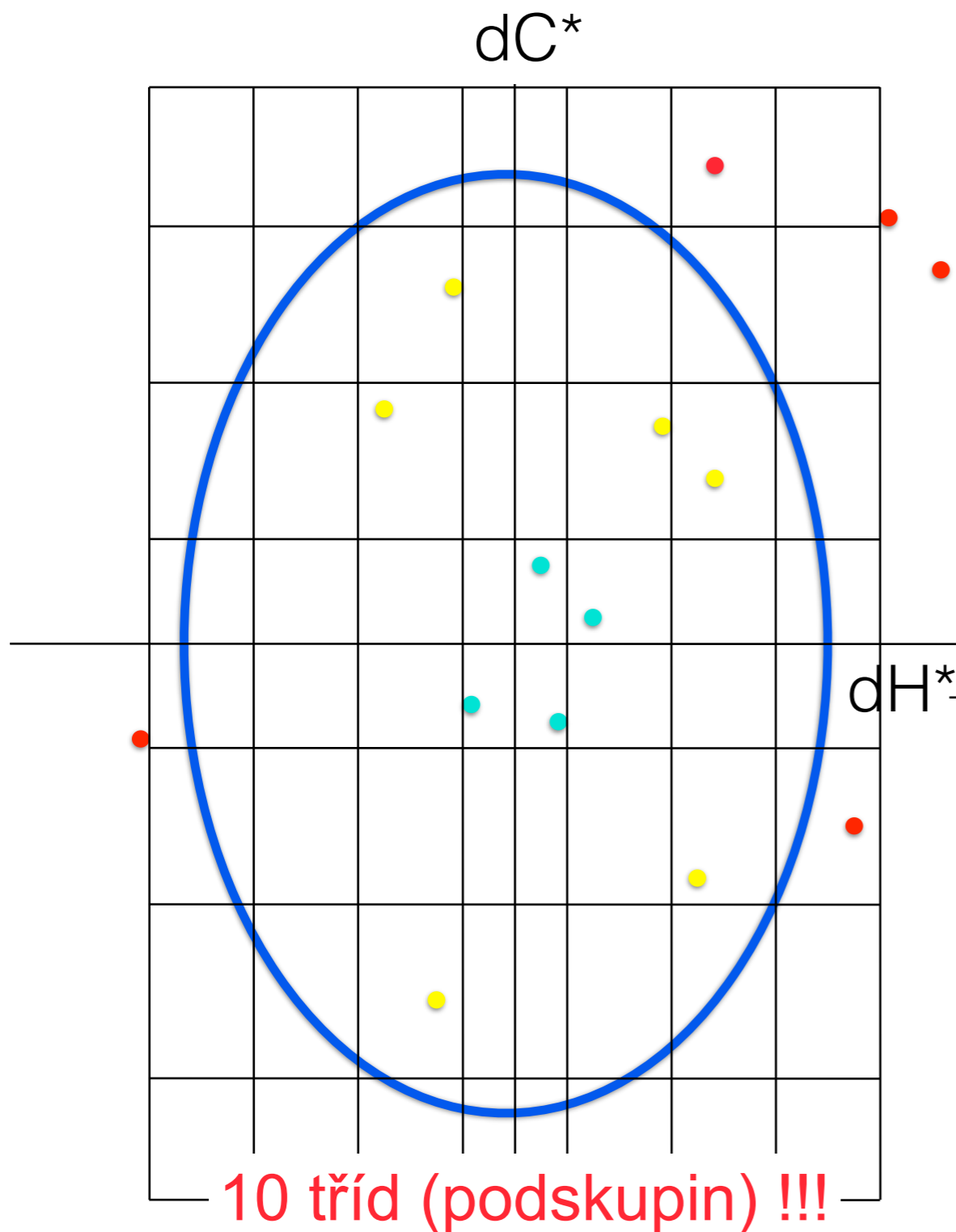
Vizuální třídění



6 tříd (podskupin)

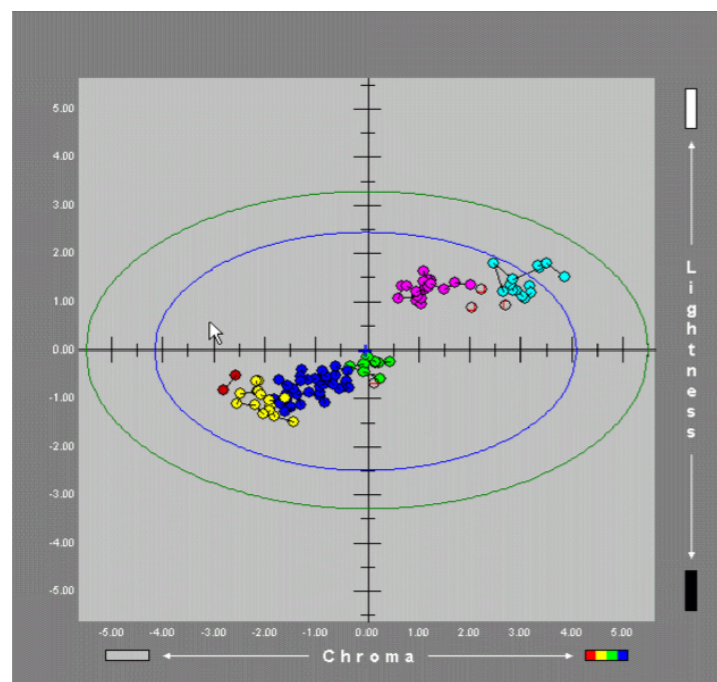
555 vs. Kláštrové třídění

Třídění 555

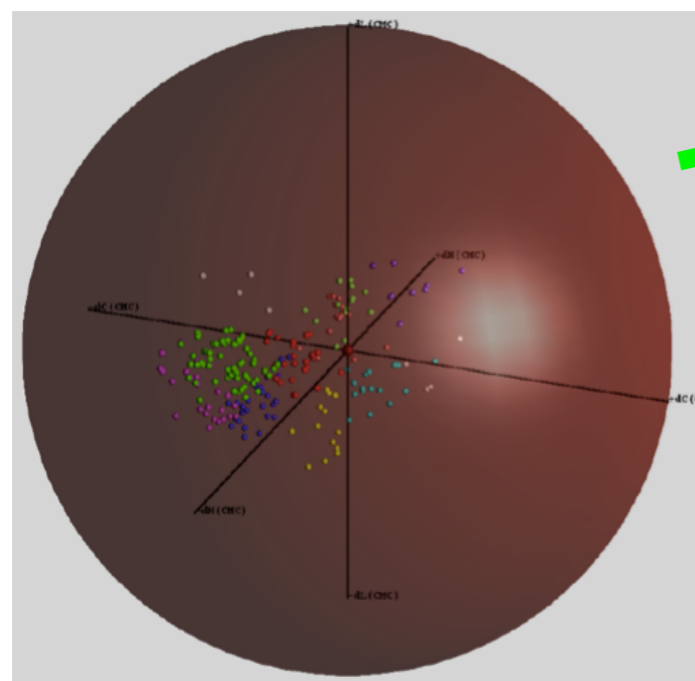


Klástrové třídění

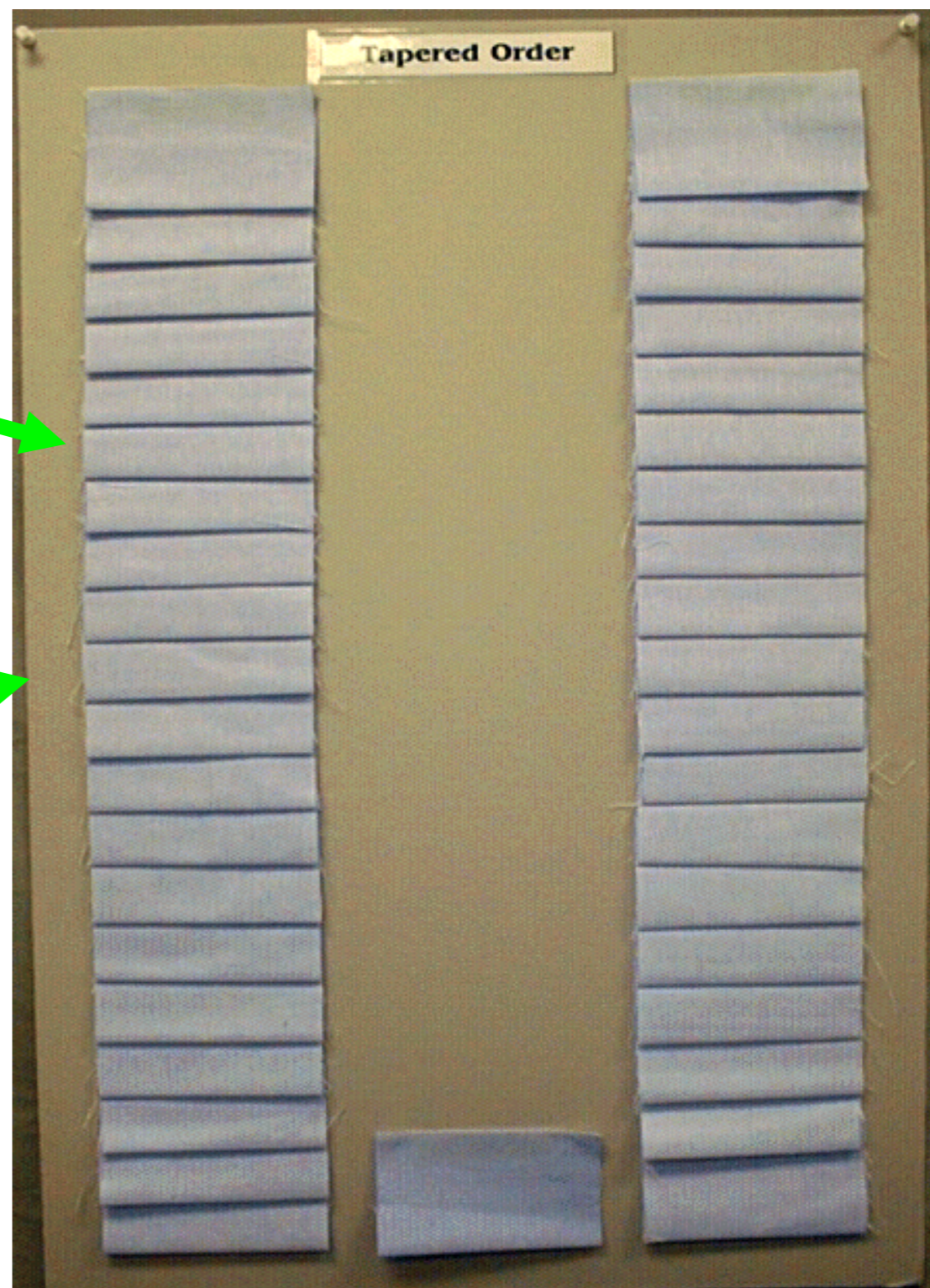
Výhoda: vznikly 3 skupiny !!!



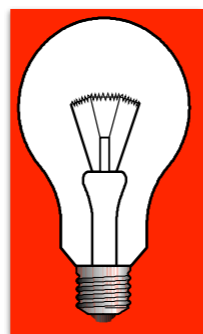
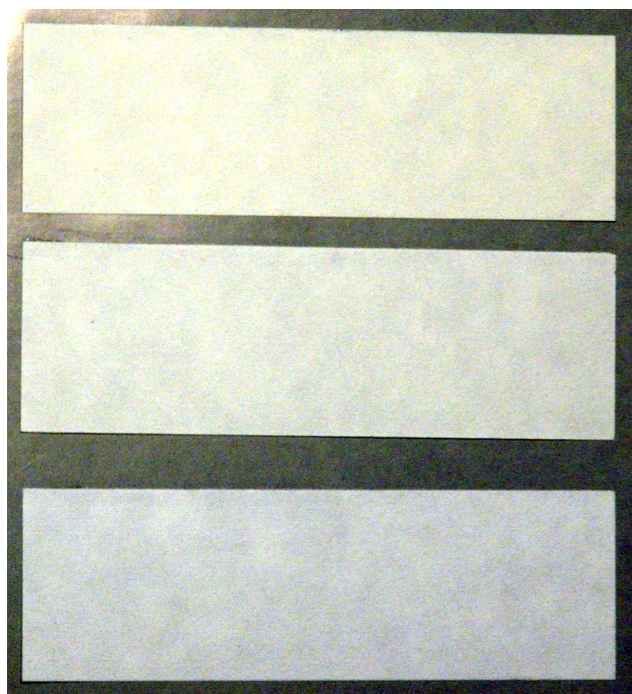
SheLyn, Incorporated



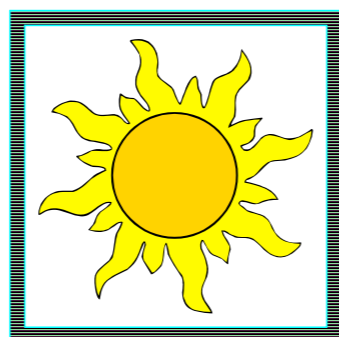
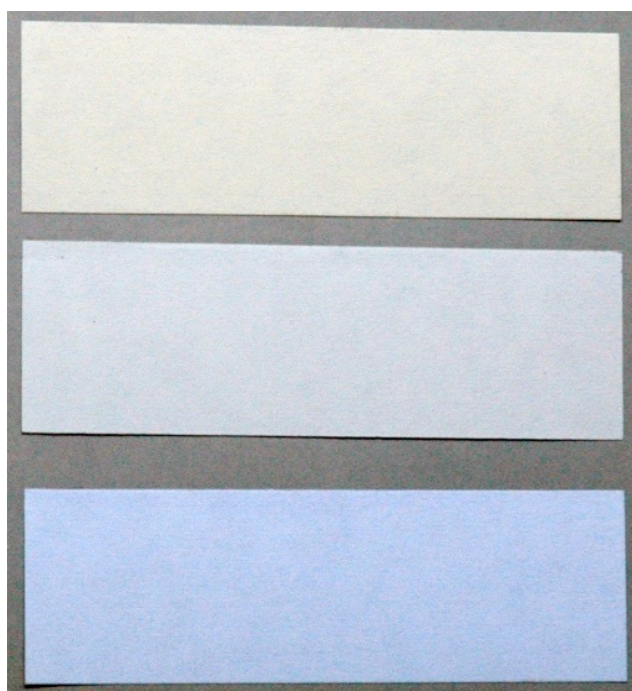
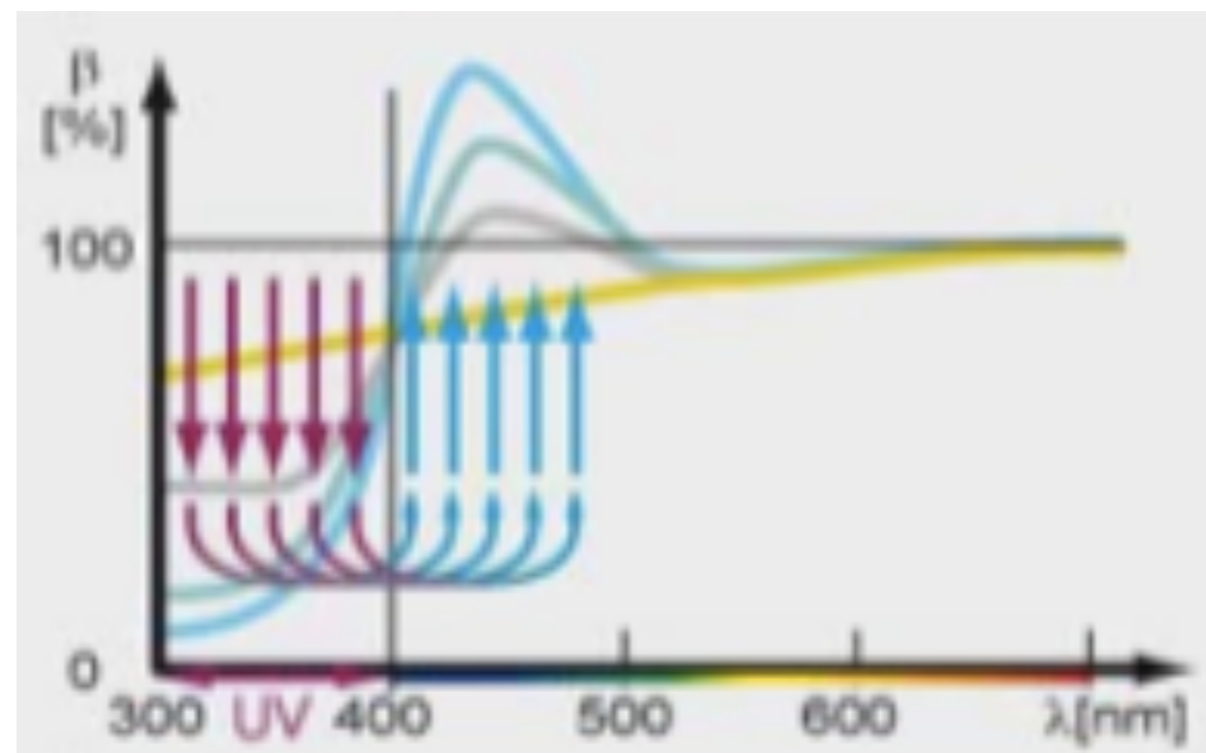
Datacolor International



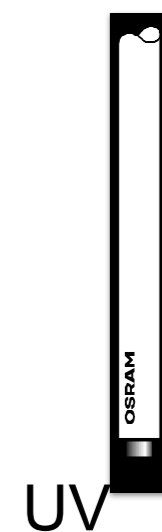
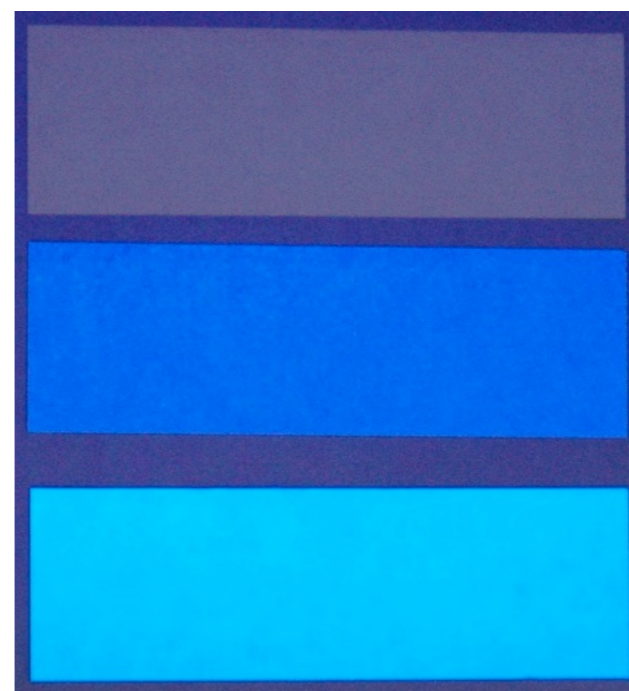
Bělost



A



D65



R457 I (TAPPI 525, ISO 2470)

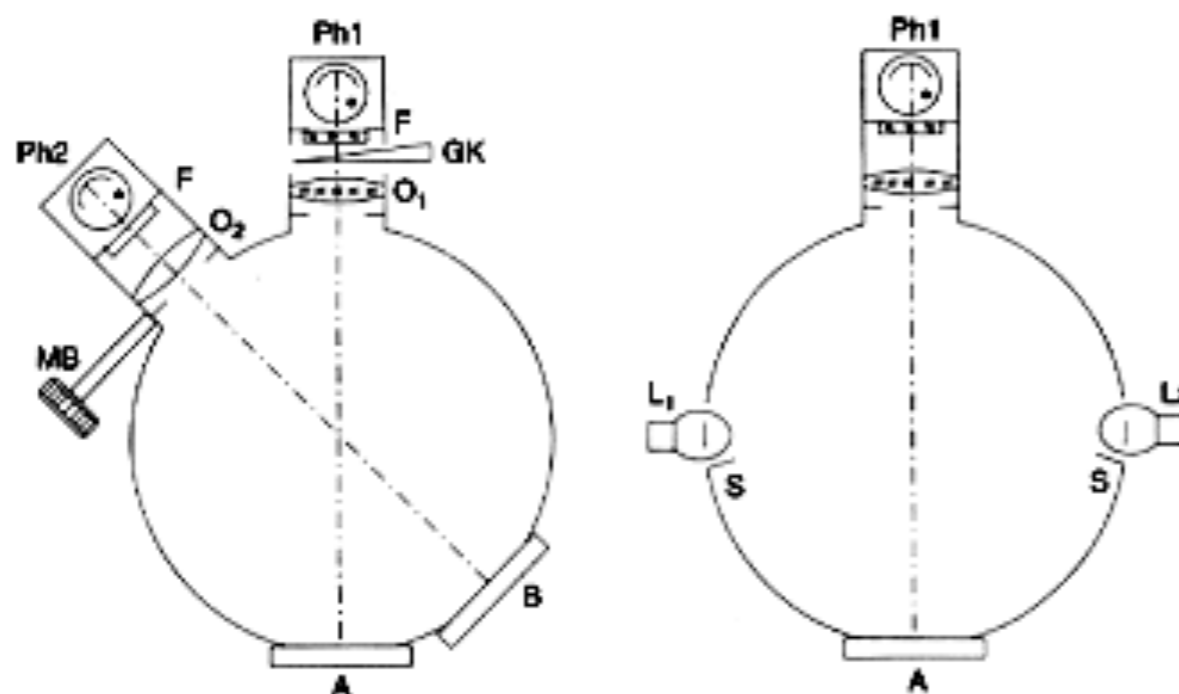
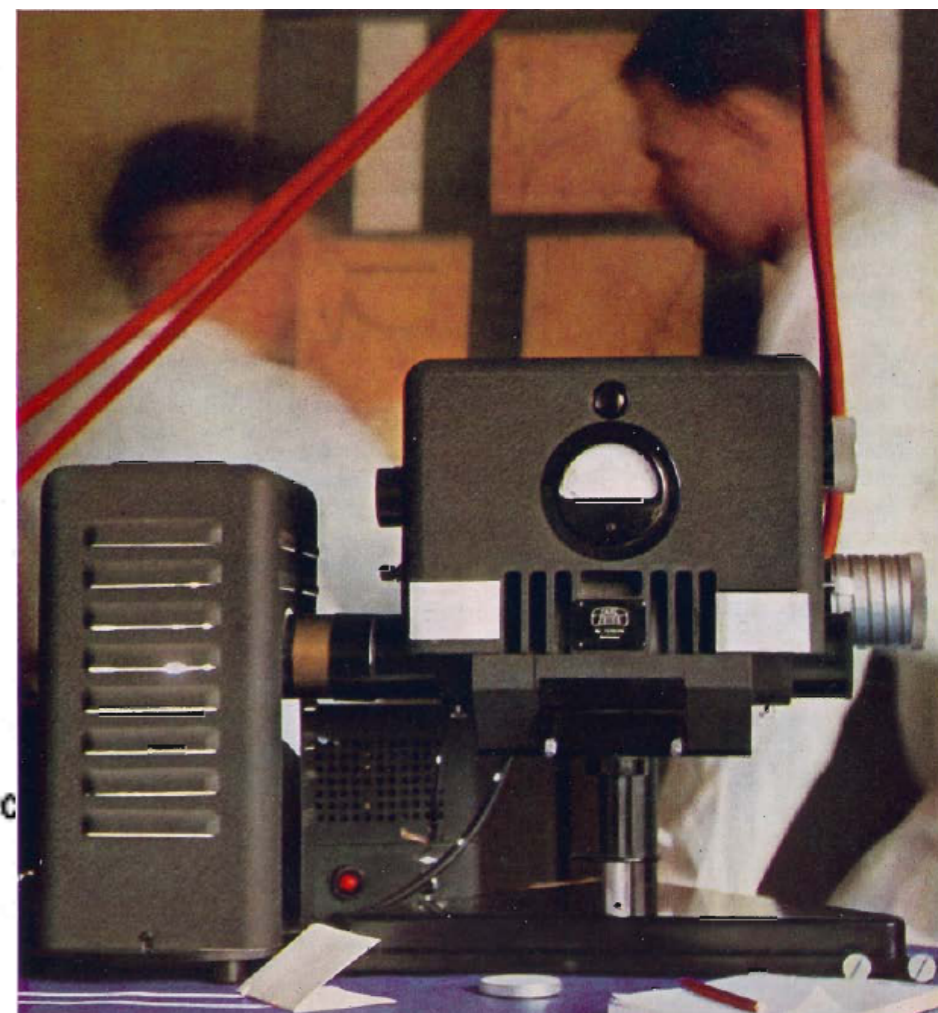


Figure 1. Schematic geometry of reflectance measurements of paper⁷ in two perpendicular cross sections: A - sample, B - internal standard, S - screen, L - lamp, Ph - detector.

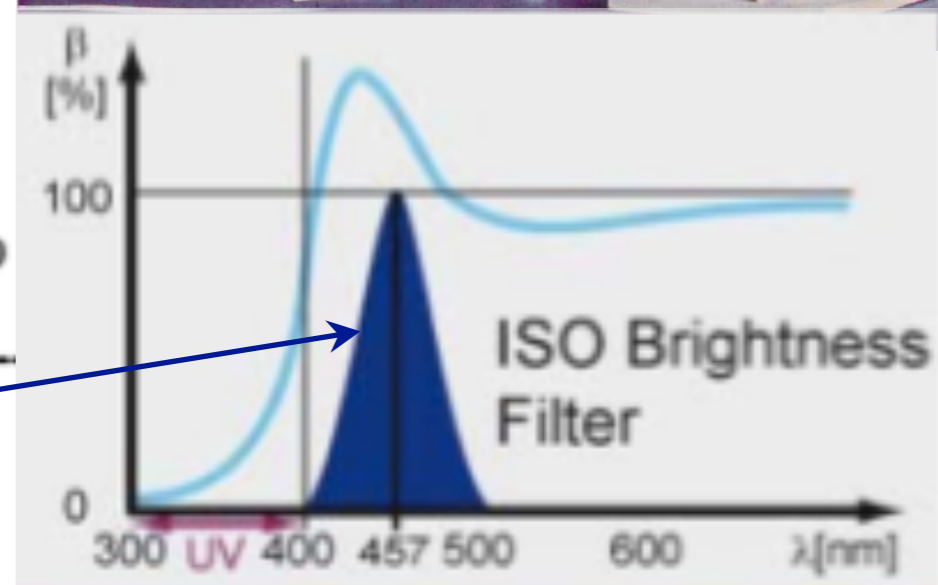


T525

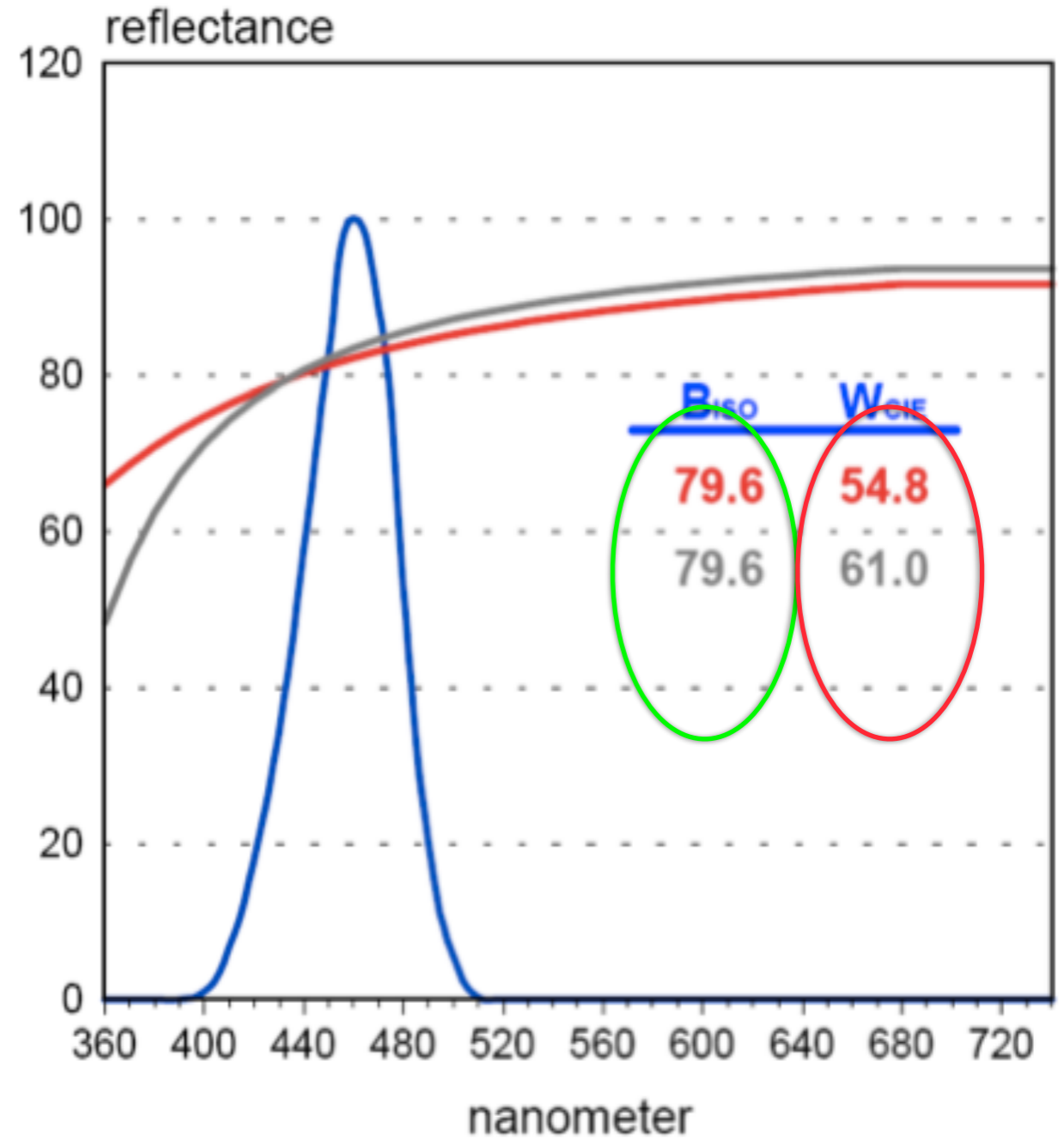
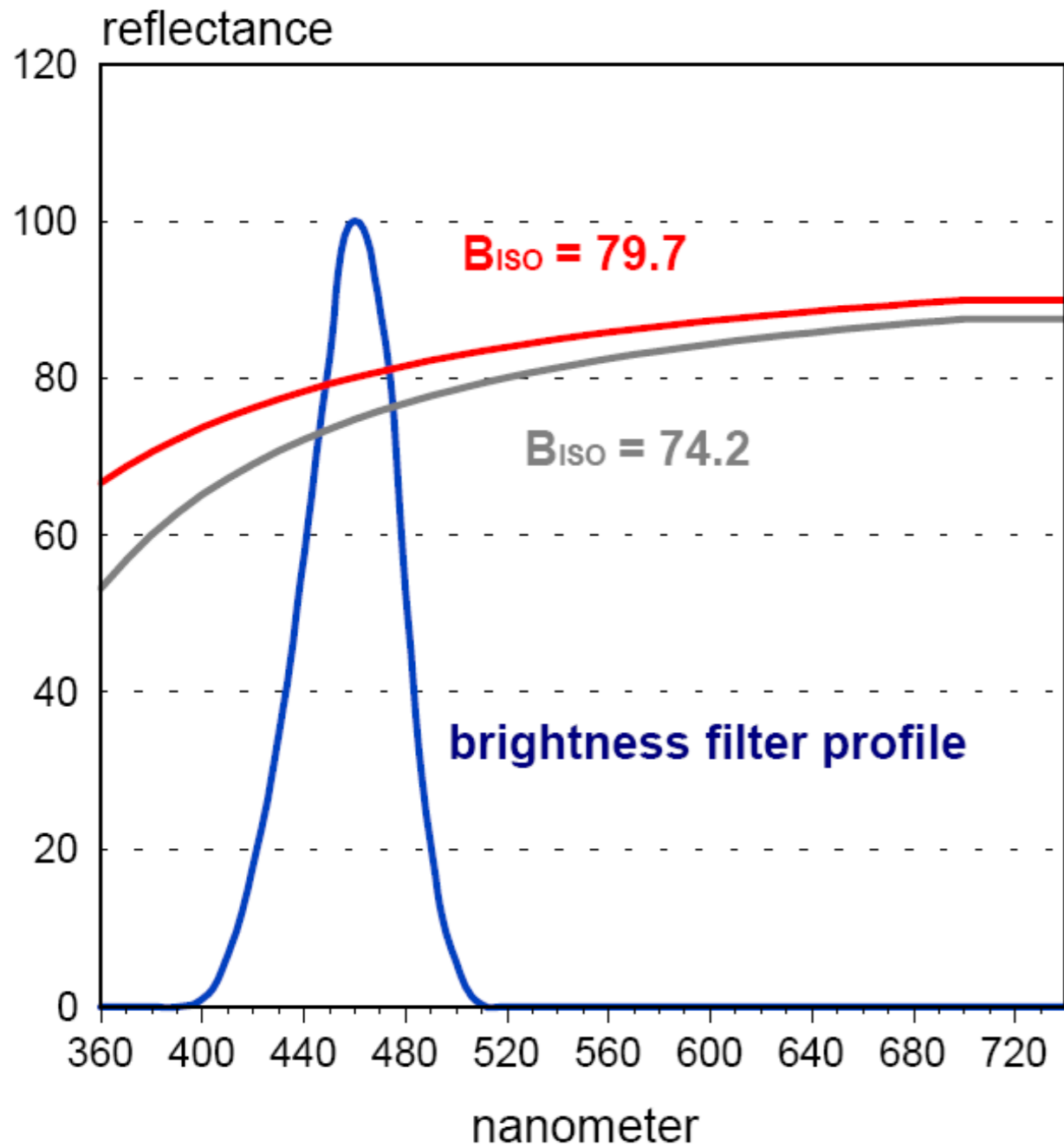
=

$$R_{400} * F_{400} + R_{410} * F_{410} + R_{\lambda} * F_{\lambda} + R_{500} * F_{500}$$

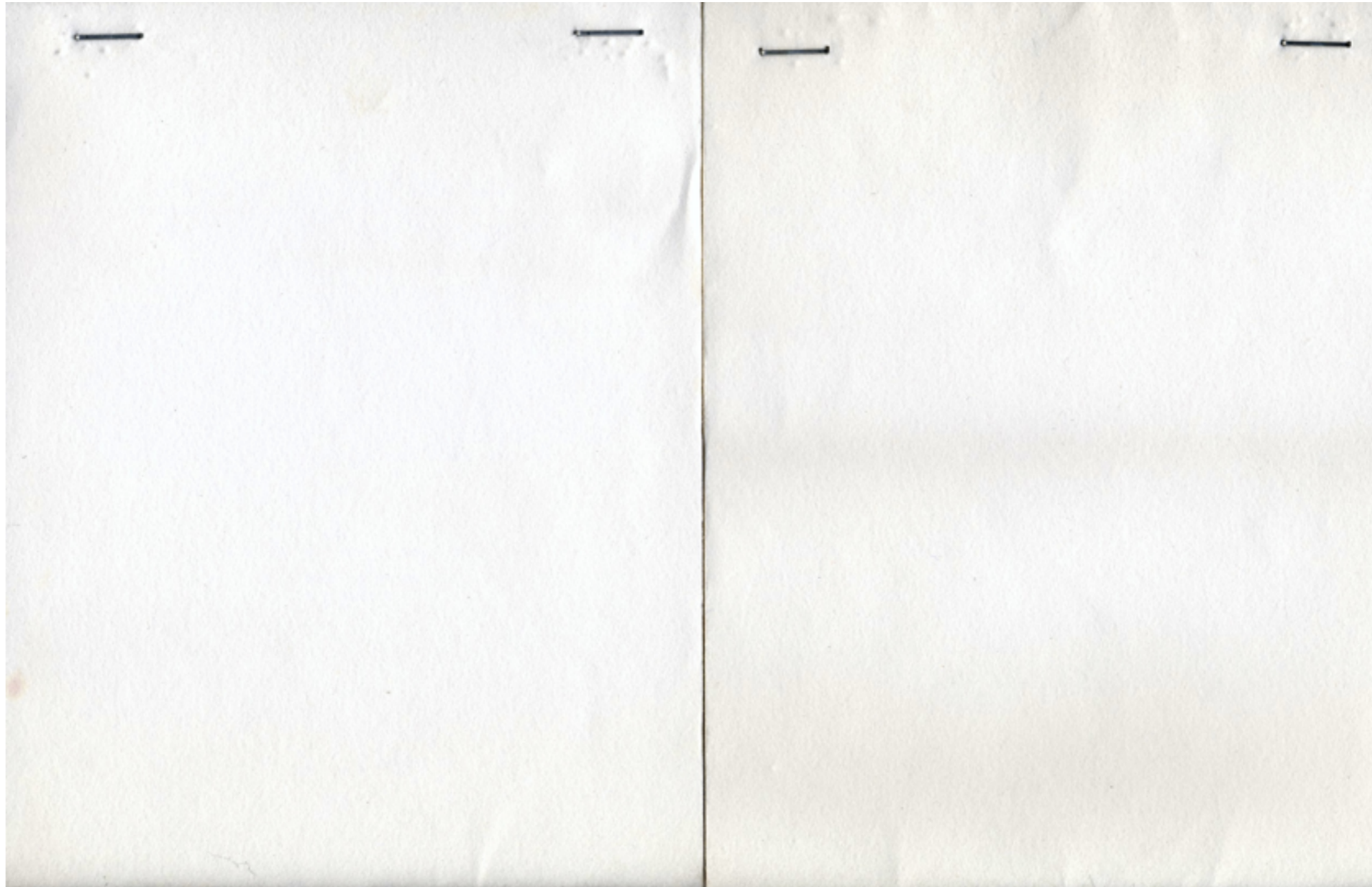
$$F_{400} + F_{410} + F_{\lambda} + F_{500}$$



R457 II



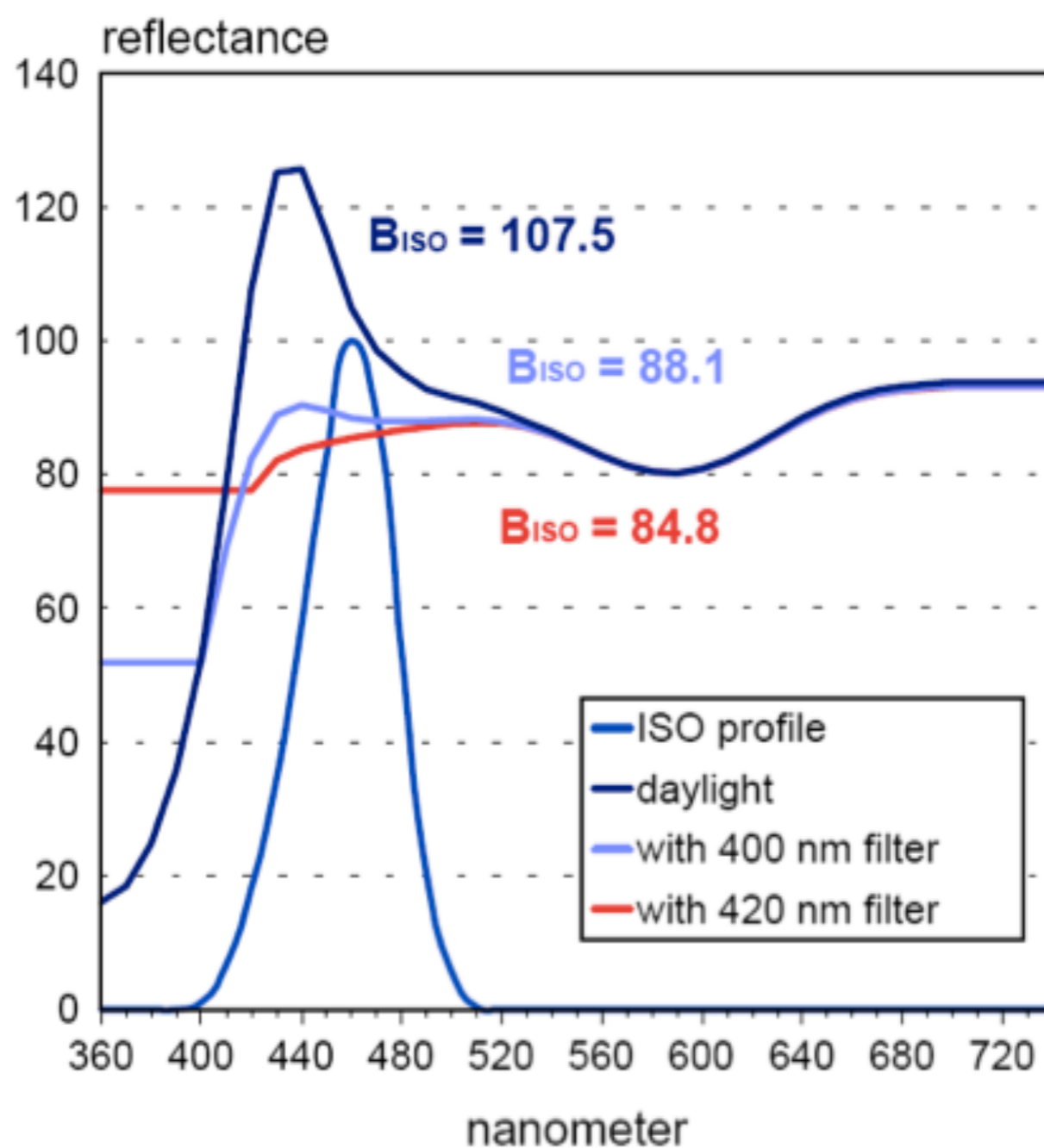
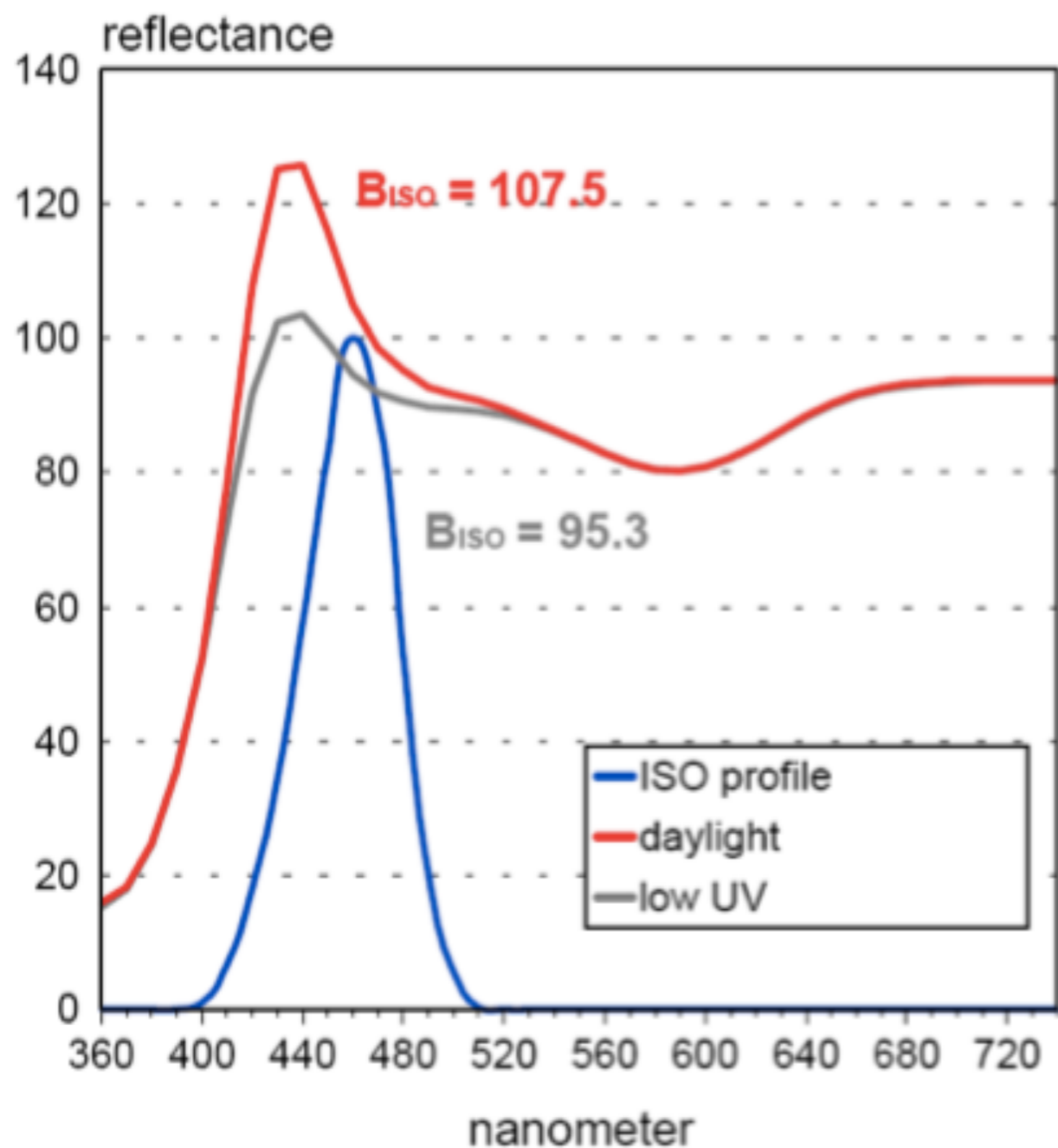
R457 III



$B_{ISO} = 87.4$

$B_{ISO} = 84.2$

Brightness (R457) vs. různý podíl UV záření



Stupně běli založené na trichromatických složkách

Hunter, 1942

$$WI = 100 - \left\{ \left[\frac{220(G - B)}{G + 0.242B} \right]^2 + \left[\frac{(100 - G)}{2} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

Hunter, 1960

$$WI = L - 3b = 10(Y - 21)^{1/2} (Y - 0.847Z)/Y^{1/2}$$

Stensby

$$WI = L - 3b + 3a$$

Taube

$$WI = 3.388Z - 3Y,$$

Berger

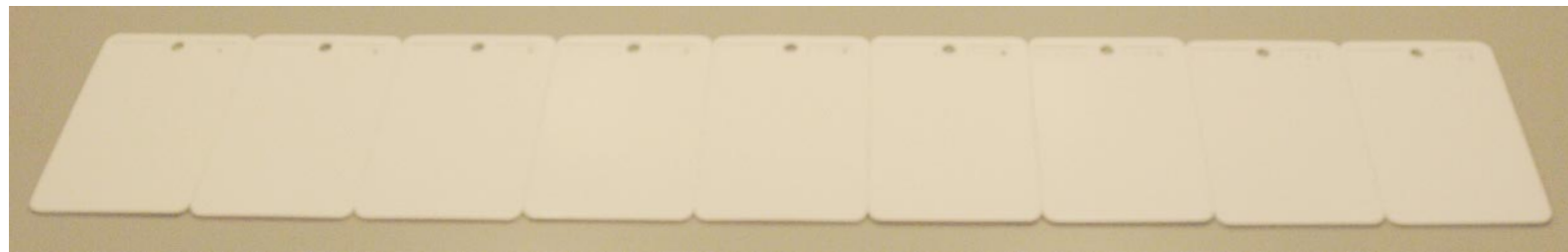
$$WI = Y + 3.108Z - 3.831X$$

(For the CIE 2° Standard Observer/Illuminant C)

Ganz-Griesserova kalibrace I



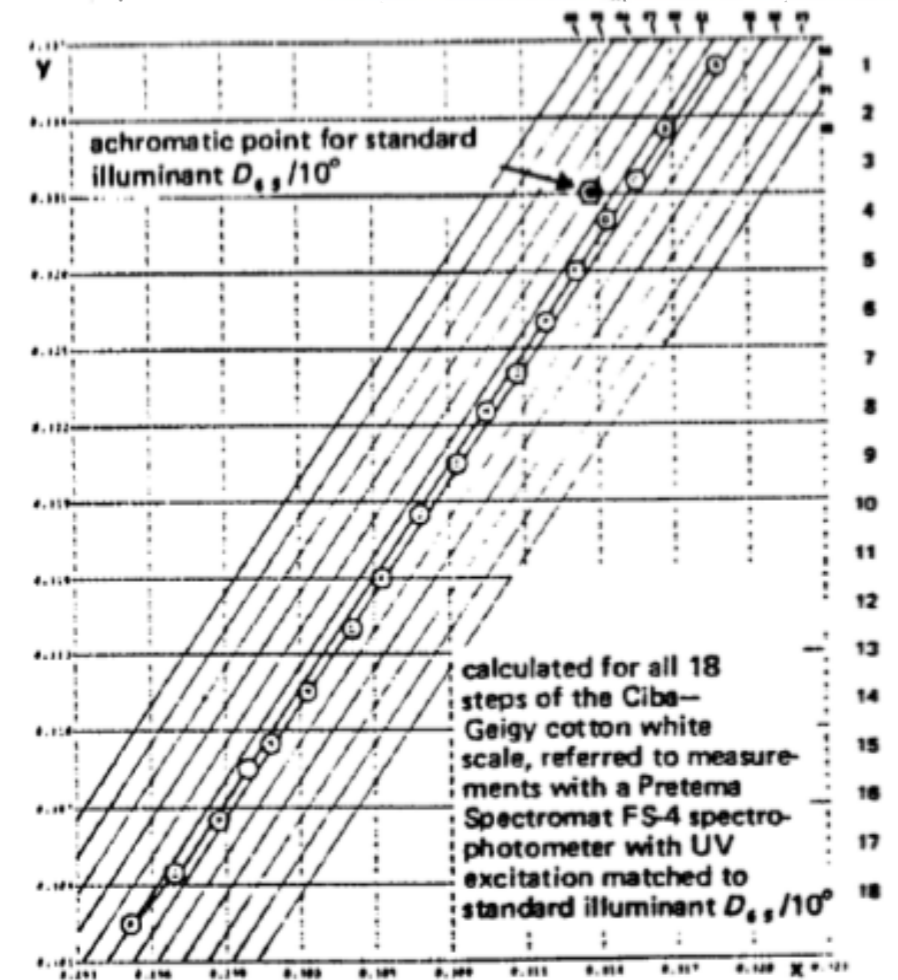
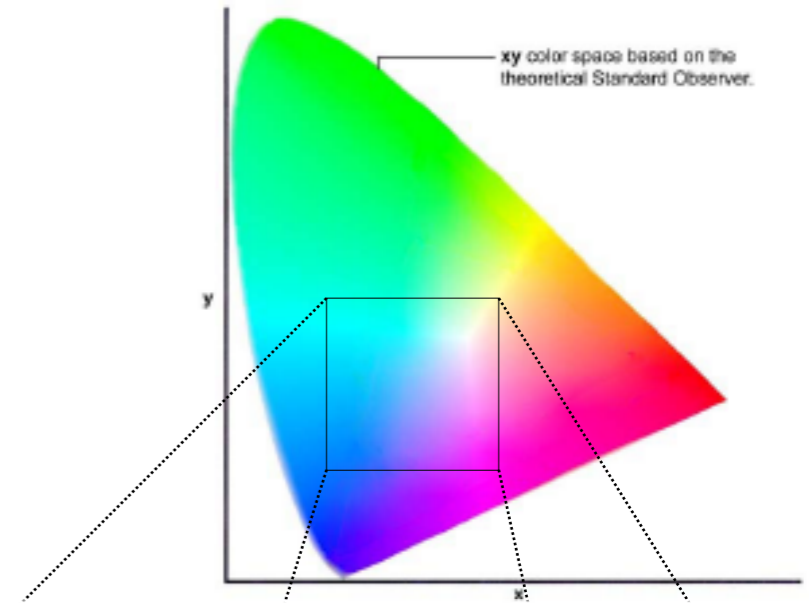
D65



A

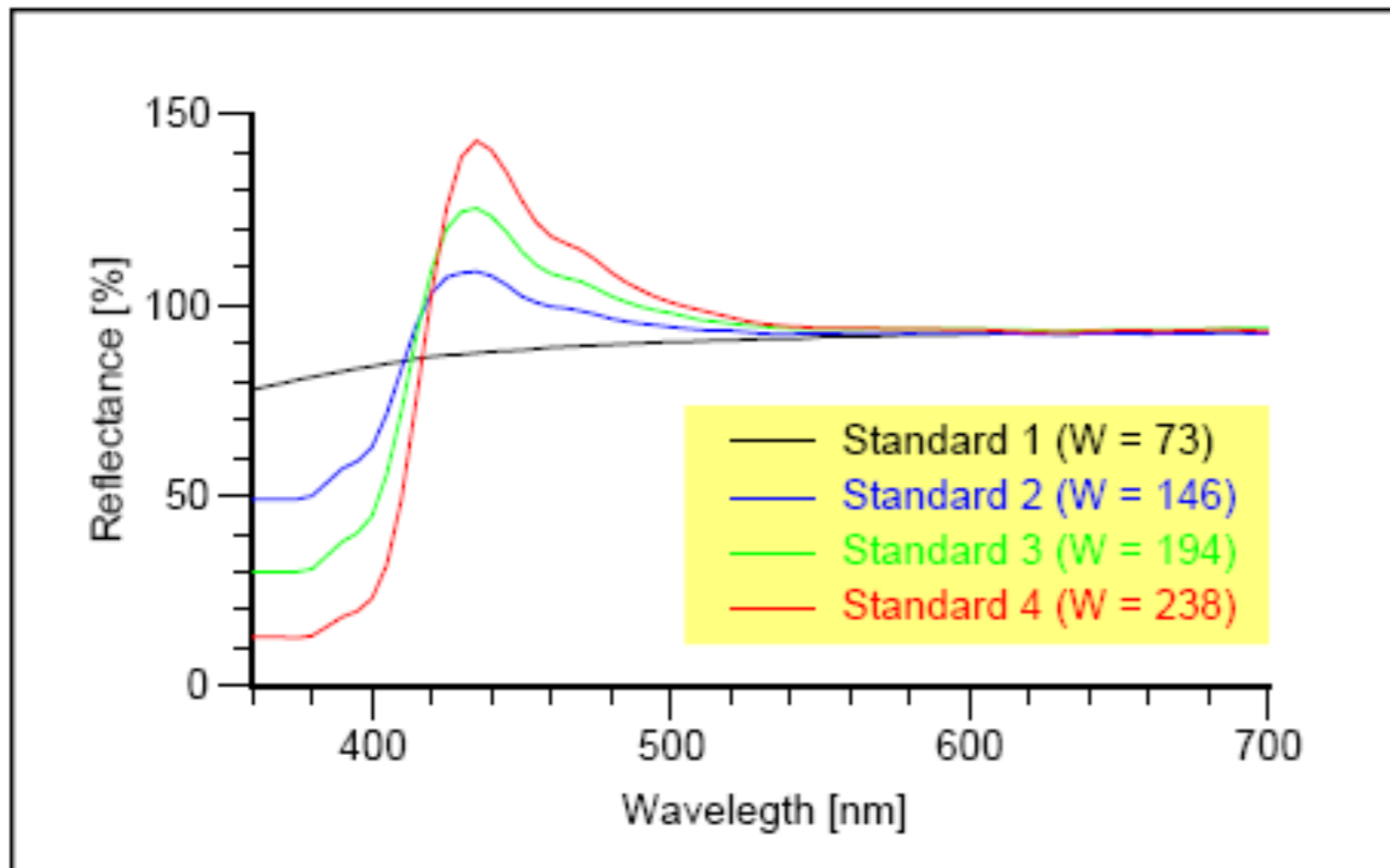
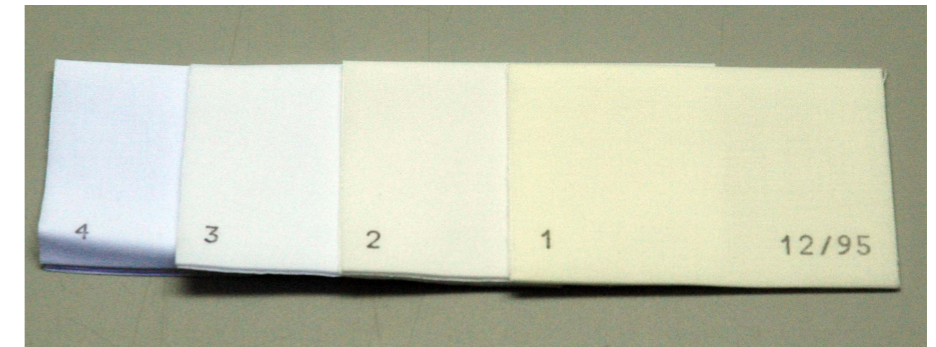


UV



Ganz-Griesser kalibrace II

| 16130/4 | | | 16130/3 | | | 16130/2 | | | 16130/1 | | |
|-------------------|----------|-------|-------------------|----------|-------|-------------------|----------|-------|-------------------|----------|-------|
| Serial Nr | 16130/4 | | Serial Nr | 16130/3 | | Serial Nr | 16130/2 | | Serial Nr | 16130/1 | |
| date of dispatch: | 10/25/01 | | date of dispatch: | 10/25/01 | | date of dispatch: | 10/25/01 | | date of dispatch: | 10/25/01 | |
| date to replace: | 01/25/02 | | date to replace: | 01/25/02 | | date to replace: | 01/25/02 | | date to replace: | 01/25/02 | |
| WG | Ganz | CIE | WG | Ganz | CIE | WG | Ganz | CIE | WG | Ganz | CIE |
| TV | 0.20 | -0.31 | TV | -0.56 | -1.11 | TV | -0.15 | -0.86 | TV | -0.01 | -0.85 |



Stupeň běli Ganz-Griesser

$$WI\ GANZ = DY + Px + Qy + C\ \text{for}\ D65/10^\circ$$

$$D = \frac{\delta W}{\delta Y} = 1$$

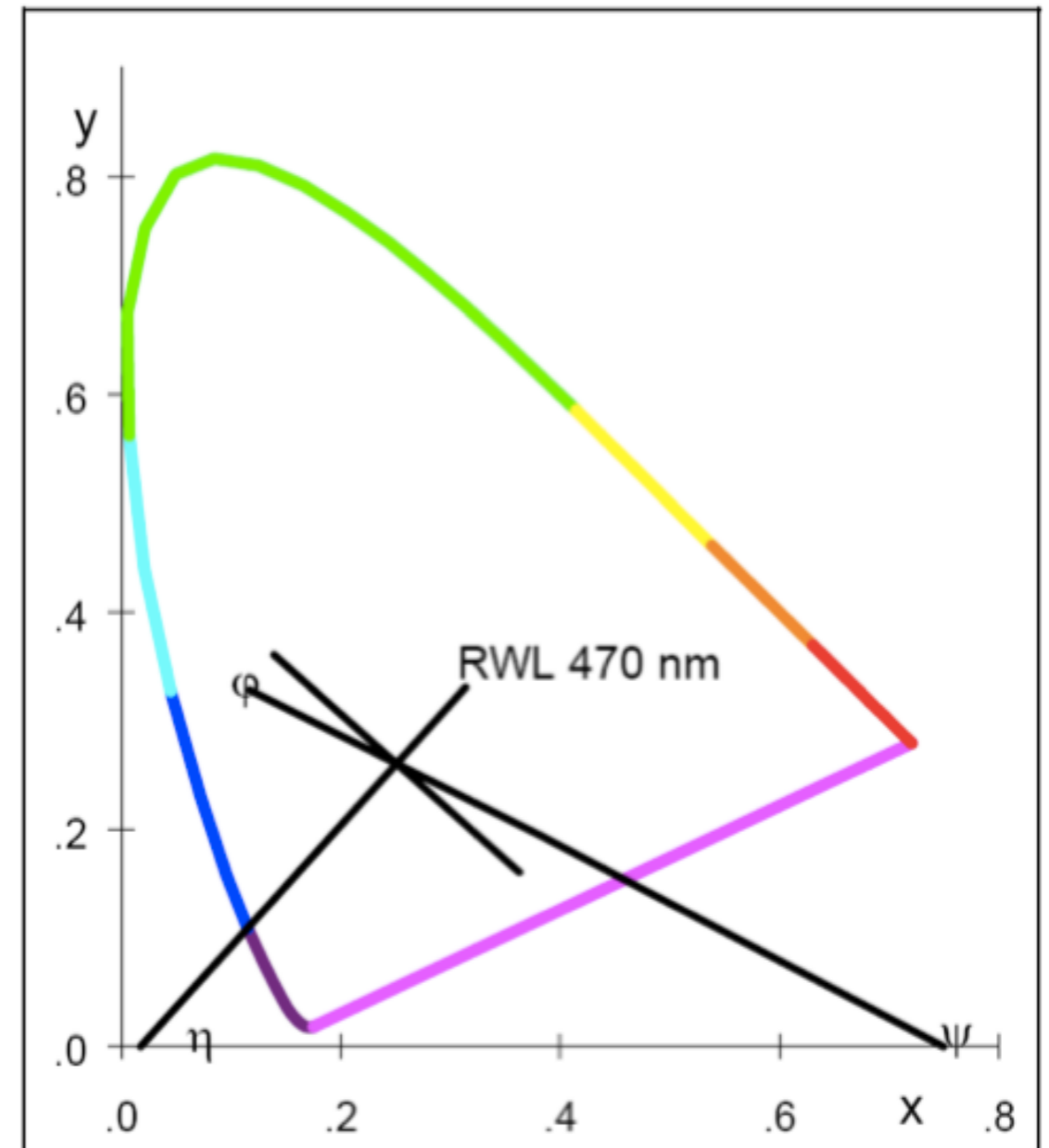
$$P = \left(\frac{-\delta W}{\delta S} \right) * \left(\frac{\cos(\varphi + \eta)}{\cos(\varphi)} \right) = -1868.322$$

$$Q = \left(\frac{\delta W}{\delta S} \right) * \left(\frac{\sin(\varphi + \pi)}{\cos(\varphi)} \right) = -3695.690$$

$$C = \left[W_0 * \left(1 - \frac{\delta W}{\delta Y} \right) \right] - (P_{x_n}) - (Q_{y_n}) = 1809.441.$$

$$\frac{\delta W}{\delta Y} = 1 \quad W_0 = 100 \quad \leftarrow \quad \text{Ideal white}$$

$$\frac{\delta W}{\delta S} = 4000 \quad \leftarrow \quad 4000 \pm 50$$



Stupeň běli CIE

$$W = Y + 800 (x_n - x) + 1700 (y_n - y)$$

Odstínový nádech CIE

$$T = T_x (x_n - x) - 650 (y_n - y)$$

| Value | C/2° | D50/2° | D65/2° | C/10° | D50/10° | D65/10° |
|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| T_x | 1000 | 1000 | 1000 | 900 | 900 | 900 |
| x_n | 0.3101 | 0.3457 | 0.3127 | 0.3104 | 0.3477 | 0.3138 |
| y_n | 0.3161 | 0.3585 | 0.3290 | 0.3191 | 0.3595 | 0.3310 |

Odstínový nádech Ganz-Griesser

$$\mathbf{Tint\ GANZ} = mx + ny + k$$

$$m = \frac{-\cos(\alpha)}{BW} = -937.588$$

$$n = \frac{\sin(\alpha)}{BW} = 826.697$$

$$k = -m\bar{x} - n\bar{y} = 21.352$$

Alternativní výpočet stupně běli CIE

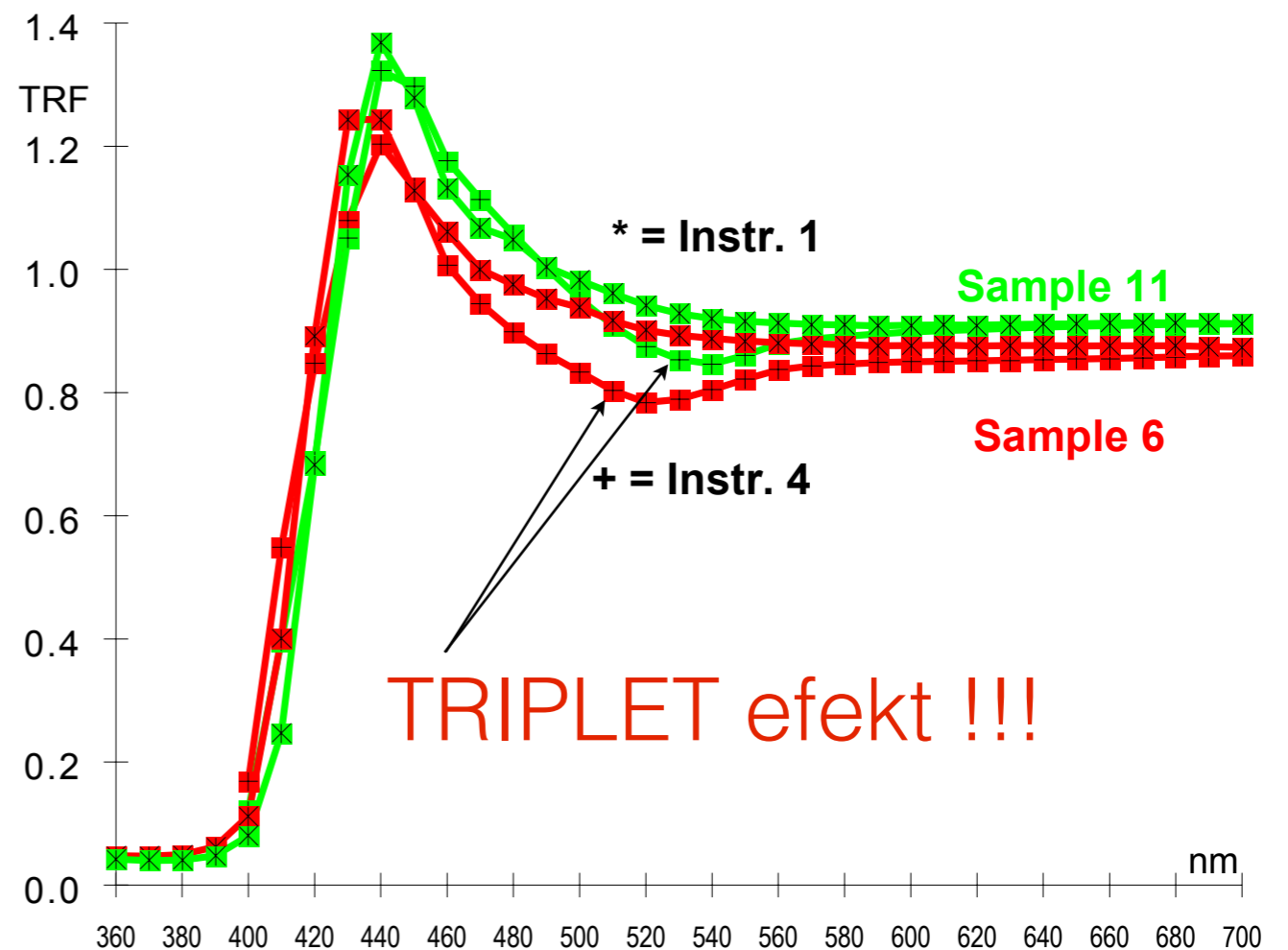
$$W_{\text{CIE}} \approx 2.41L^* - 4.45b^*(1 - 0.009(L^* - 96)) - 141.4$$

převzato z: E. Ganz and H. K. A. Pauli, Applied Optics 34, 2998–2999 (1995)

TRIPLET efekt u fluorescenčních materiálů

Vedle nastavení světelného zdroje na osvětlení D65 (popř. C - některé aplikace z papírenské oblasti), je nutno počítat také s tzv. TRIPLET efektem.

K tomuto jevu dochází u lehkého zboží vlivem pulsních výbojek, kdy světelná energie vede vedle singletní také na tripletní excitaci, která má delší dobu dosvitu a projeví se na křivce měřené odrazivosti fluorescenčních materiálů. Řešení spočívá v použití tzv. soft záblesků, kdy je světelná energie pulsní výbojky redukována na cca 70%.



převzato z: R. Griesser: AIC Interim Meeting '95 Colorimetry", Berlin, 4. - 6. September 1995

OZP jako součást vzorování



F11



D65

Žlutost



$$YI = 100(C_X X - C_Z Z) / Y$$

ASTM E313-05



TABLE 1 Coefficients of the Equations for Yellowness Index

| Quantity | CIE Standard Illuminant and Standard Observer | | | |
|----------------|---|------------------------|---------|------------------------|
| | C, 1931 | D ₆₅ , 1931 | C, 1964 | D ₆₅ , 1964 |
| X _n | 98.074 | 95.047 | 97.285 | 94.811 |
| Y _n | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| Z _n | 118.232 | 108.883 | 116.145 | 107.304 |
| F _A | 0.7987 | 0.8105 | 0.7987 | 0.8103 |
| F _B | 0.2013 | 0.1895 | 0.2013 | 0.1897 |
| C _X | 1.2769 | 1.2985 | 1.2871 | 1.3013 |
| C _Z | 1.0592 | 1.1335 | 1.0781 | 1.1498 |
| Residual error | -0.0006 | -0.0004 | -0.0004 | -0.0006 |

Old methods are defined for C/2

Yellowness after BASF:

$$G_B = \frac{X}{0.7831} + 0.833 \cdot Z$$

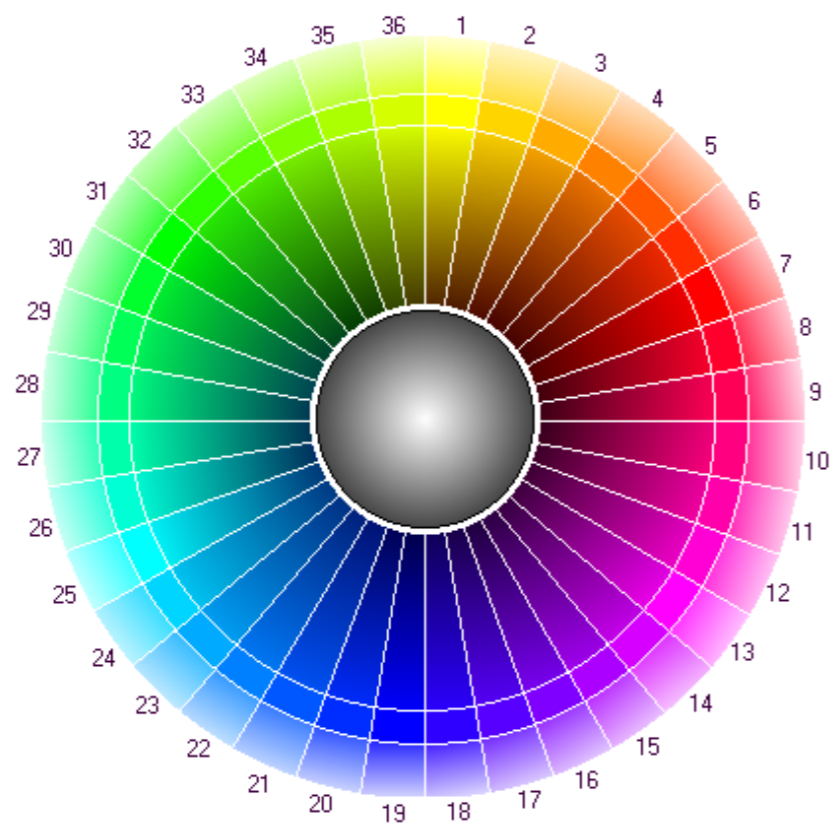
Yellowness TM-1925 and DIN 6167:

$$YI = \frac{1.2750 \cdot X - 1.0584 \cdot Z}{Y}$$

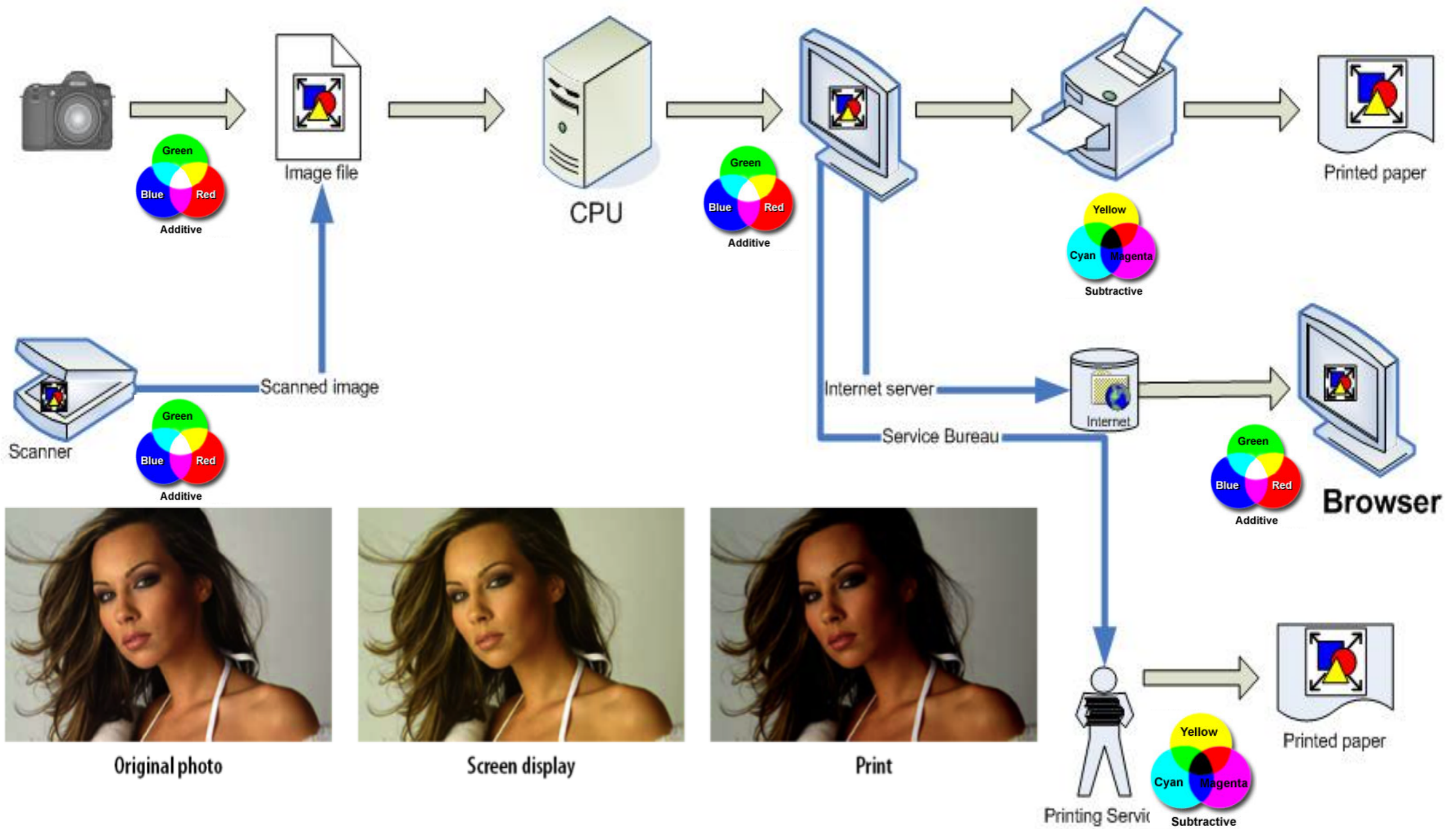
Yellowness ASTM-E 313-73:

$$YI = 100 \cdot \left(1 - 0.847 \cdot \frac{Z}{Y} \right)$$

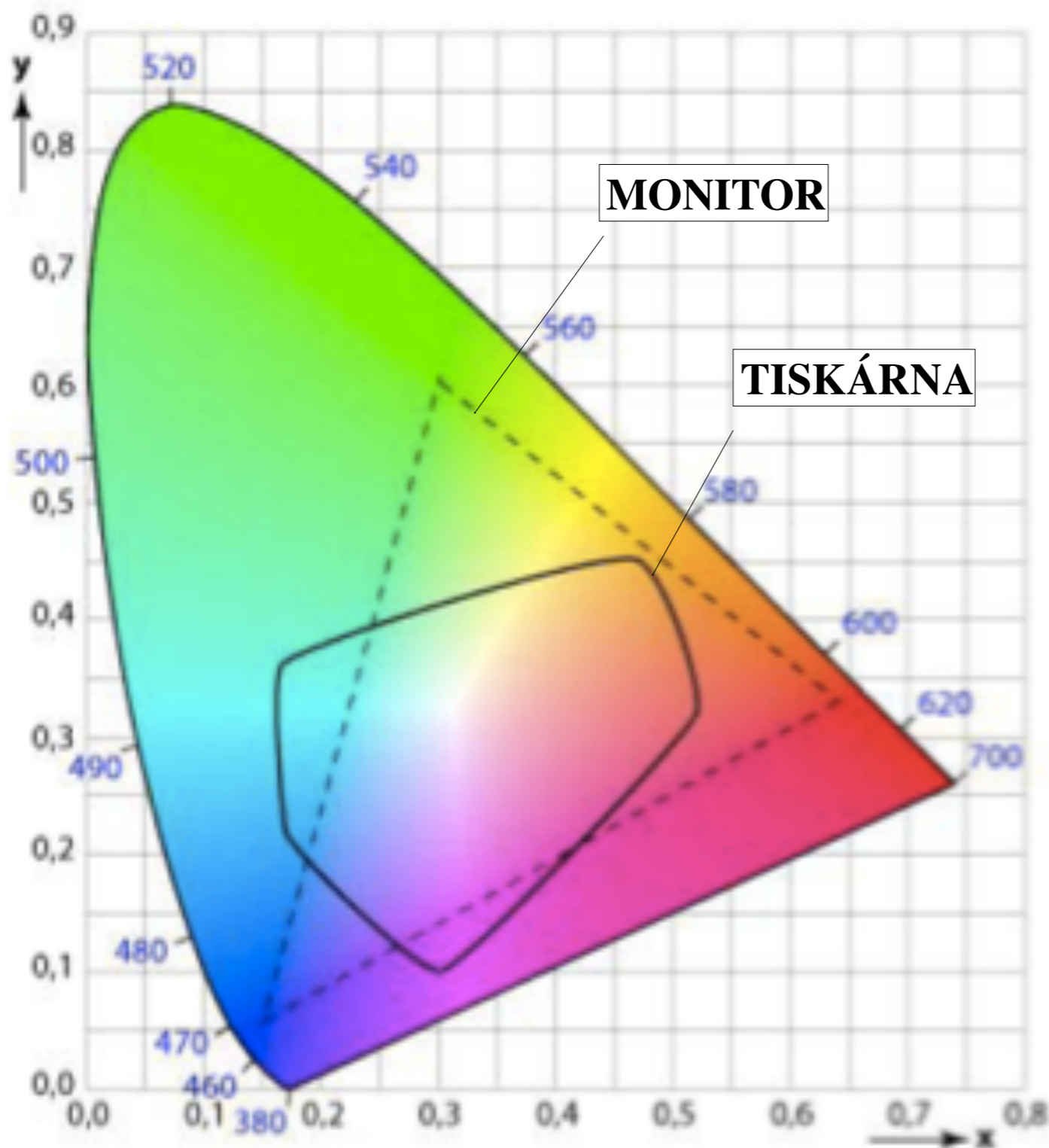
Správa barev



Přenos barevné a obrazové informace I

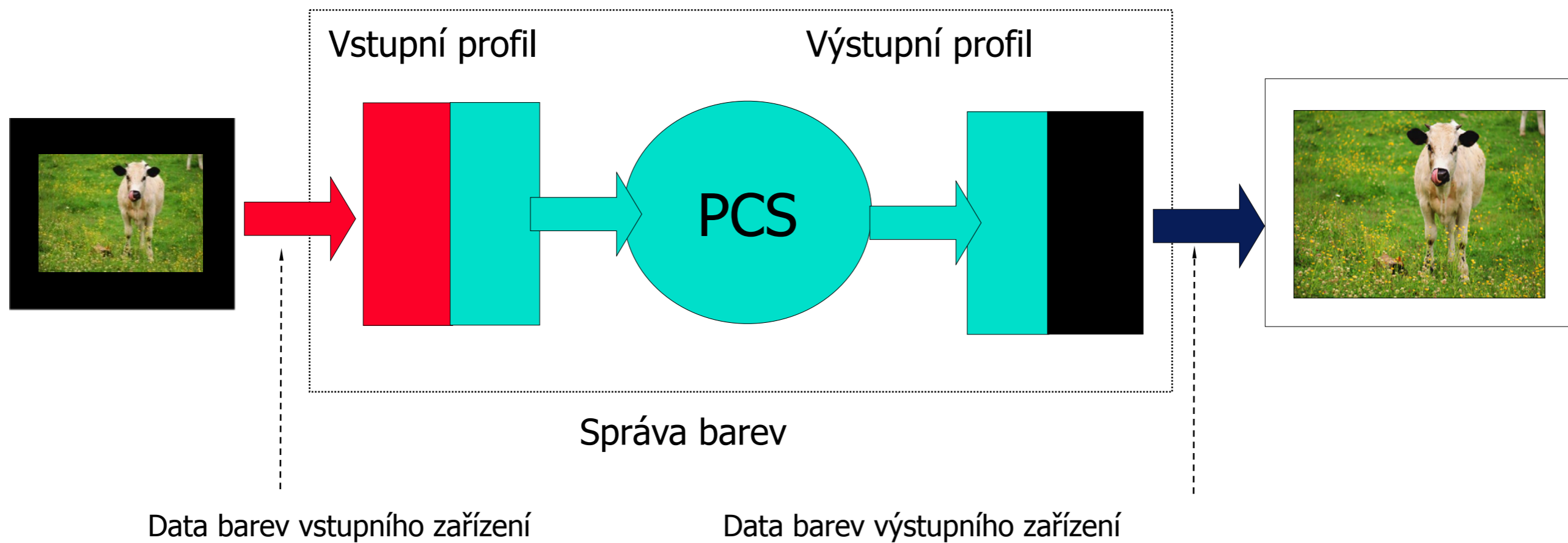


Barevný vzorovací prostor – Gamut



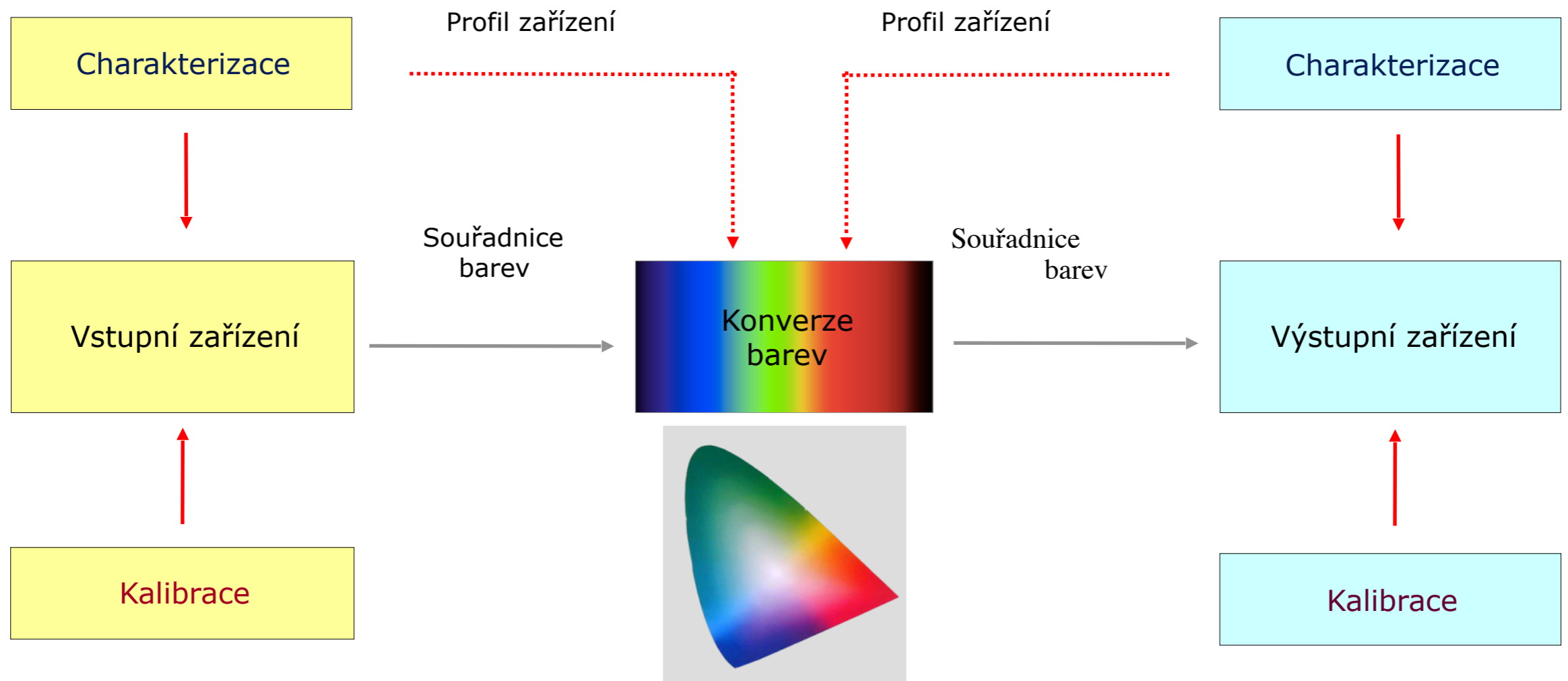
- Každé zařízení je schopno zobrazit nebo vidět jen omezený rozsah barev.
- Výstupní zařízení tedy není schopno přesně zobrazit to co je ve vstupním zařízení, je schopné se tomuto obrazu pouze přiblížit.

Otevřený systém správy barev - ICC Workflow I



Otevřený systém správy barev - ICC Workflow II

- Profil zařízení je datový soubor, který charakterizuje dané zařízení. Dříve než lze chování daného zařízení popsat je nutné jej uvést do stabilizovaného stavu – tj. provést kalibraci.

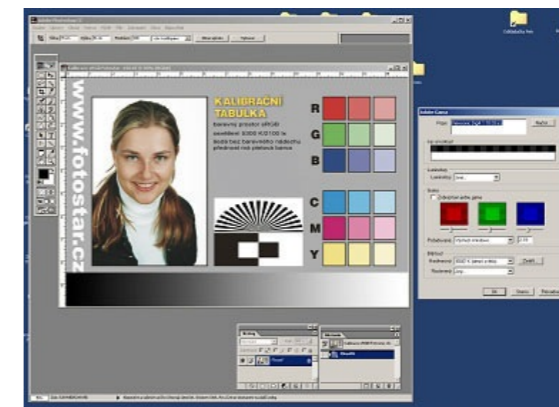


Kalibrace a charakterizace zobrazovacích systémů

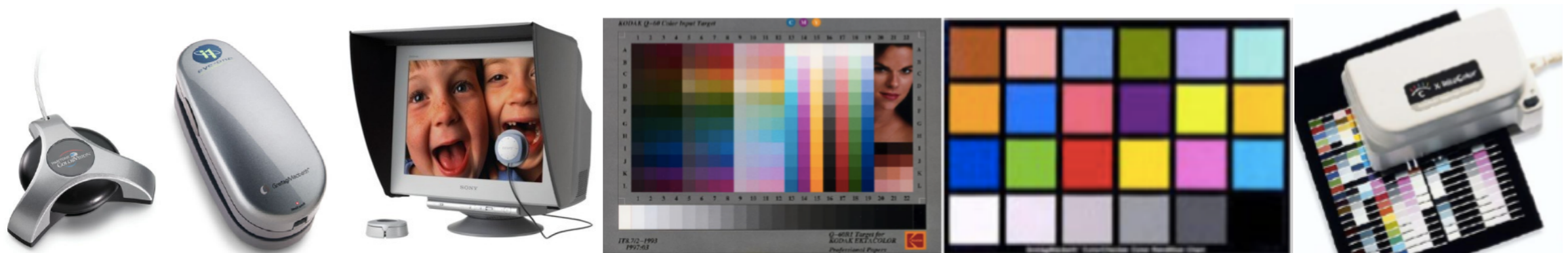
- **Nástroje pro kalibraci a charakterizaci:**

- Subjektivní metody
 - založeny na subjektivním vyhodnocování jednoduchých situací pozorovatelem

- Objektivní metody
 - hardwarové



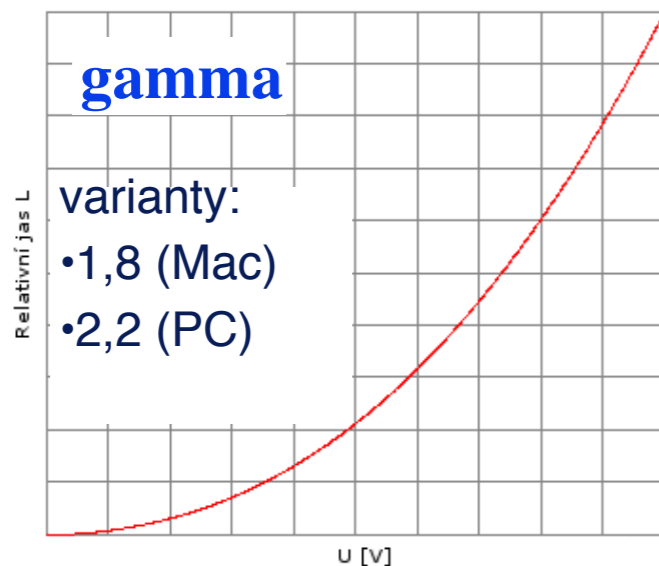
- speciální příslušenství pro LCD monitory



Nastavení monitorů

- **Jas bílého bodu (cd/m^2)**
- **Barva bílého bodu (K)**
- **Hodnota gamma**
- **Jas černého bodu (cd/m^2)**

- CRT 85–95 cd/m^2 ; – LCD 110–140 cd/m^2
- Laptop 90 cd/m^2



definuje, jak tmavá bude černá barva

- **charakterizuje křivku reprodukce tónů**
- **ovlivňuje zejména, jak světlé budou střední tóny**
- **nevhodné nastavení → posterizace (nerovnoměrný přechod mezi tóny)**

Na co pamatovat při vytváření profilů zobrazovacích systémů

- **zahřívací doba cca 30 min**
- **vypnout spořiče obrazovky**
- **umístit kurzor na okraj displeje**
- **změna polohy OSD**
- **vyčistit nečistoty na povrchu monitoru**
- **nastavit požadované rozlišení, obnovovací frekvenci, geometrii monitoru (změna těchto hodnot může ovlivnit jas)**
- **nastavit max. kontrast a min jas**
- **vliv okolních světelných podmínek (ambient light)**
- **zabezpečit ovládací prvky monitoru proti nechtěné změně hodnot**

Správa barev I

- **Relativní kolorimetrická**

- ponechává barvy zobrazitelné v cílovém prostoru nezměněny, ale ostatní barvy jsou převedeny na hodnoty k nejbližšímu sousedu se stejnou světlostí v cílovém prostoru s tím, že je upravena sytost. U relativního převodu gamutu se namapuje bílá (resp. nejbělejší barva v gamutu) původního prostoru na bílou cílového prostoru.

- **Absolutní kolorimetrická**

- ponechává barvy zobrazitelné v cílovém prostoru nezměněny, ostatní barvy jsou převedeny na okrajové hodnoty cílového prostoru směrem do středu k nejbližšímu sousedu v sRGB. U absolutního převodu gamutu se bílá původního prostoru zachová. Pak ovšem nemusí být v cílovém prostoru bílá (resp. nejbělejší barvou cílového prostoru).

- **Poznámka: V obou případech je možno použít chromatickou adaptaci.**

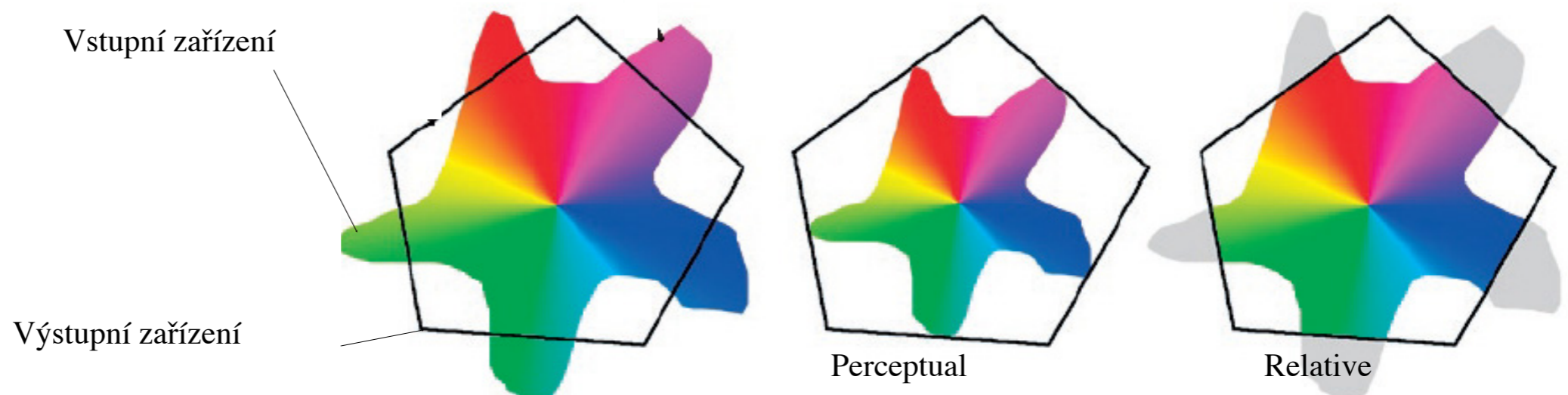
Správa barev II

- **Perceptual**

- Provádí přepočítání každé barvy dovnitř cílového prostoru, přičemž mezní hodnoty na hranici gamutu nebo v jeho blízkosti cílového prostoru zpravidla zůstávají nevyužity. Záměr perceptuální metody přepočtu je udržet relativní vzdálenosti mezi barvami v barevném prostoru. Díky zmíněnému zachování barevných poměrů má rozpínavost barevnosti obrazu své pevné hranice.

- **Saturation**

- Přepočítává každou barevnou hodnotu do cílového prostoru. Přepočtem umocňuje sytost barev, přičemž barevný odstín zůstává nezměněný.



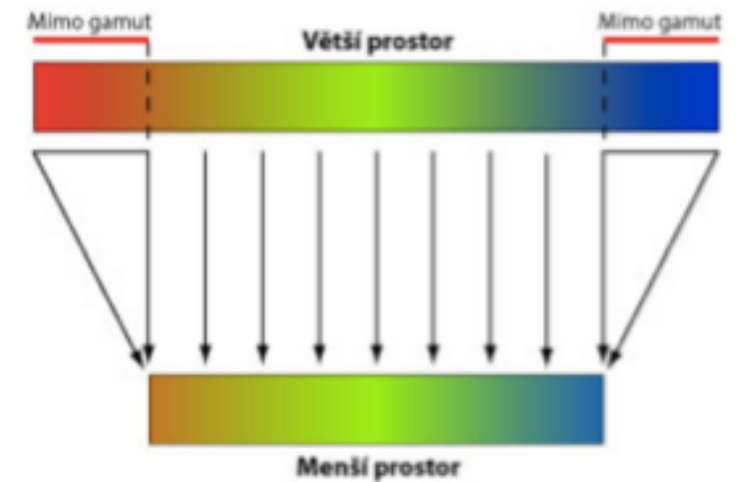
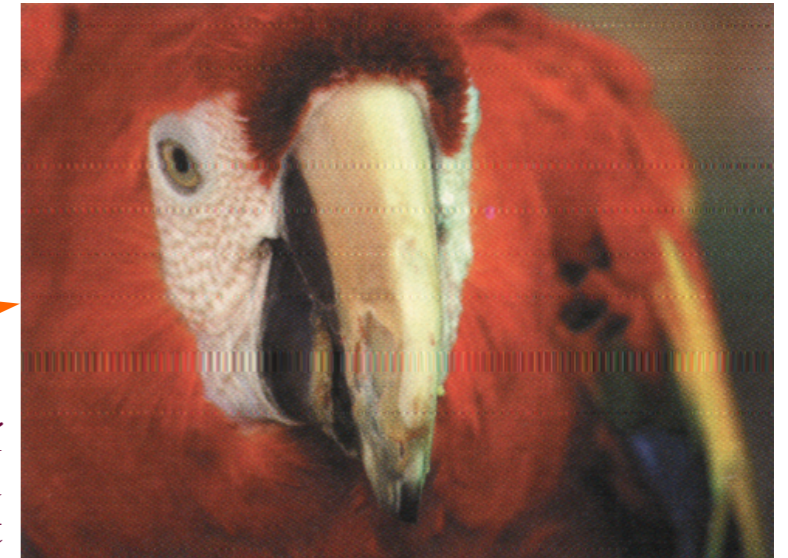
Správa barev III

ORIGINÁL



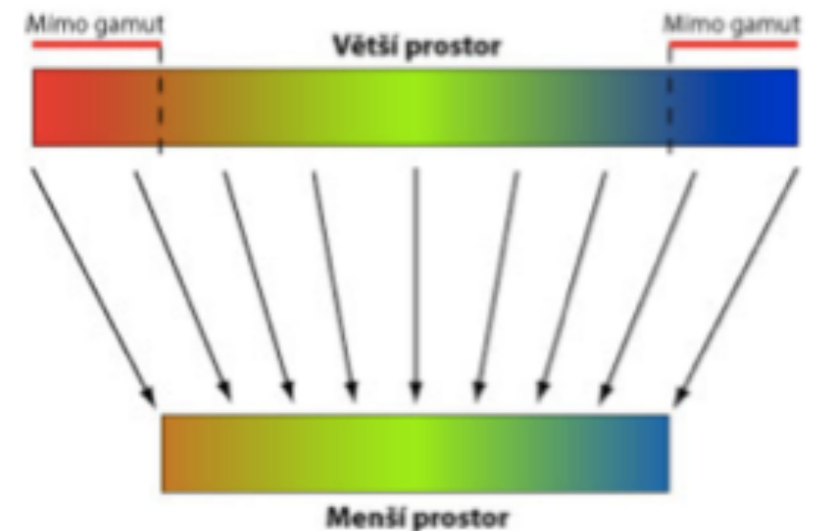
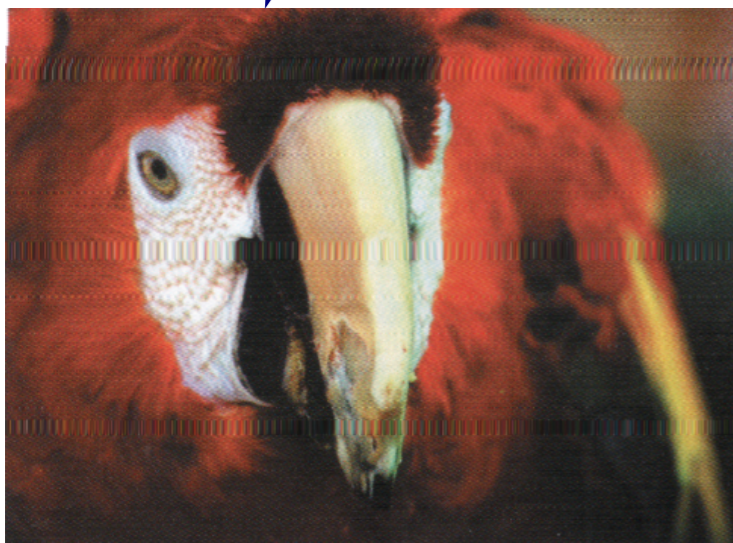
Relativní kolorimetrická

Relativní kolorimetrická metoda nahradí barvy mimo gamut nejbližší možnou barvou. Část kresby se tedy může slít výměnou za stálost barev uvnitř obou gamutů.

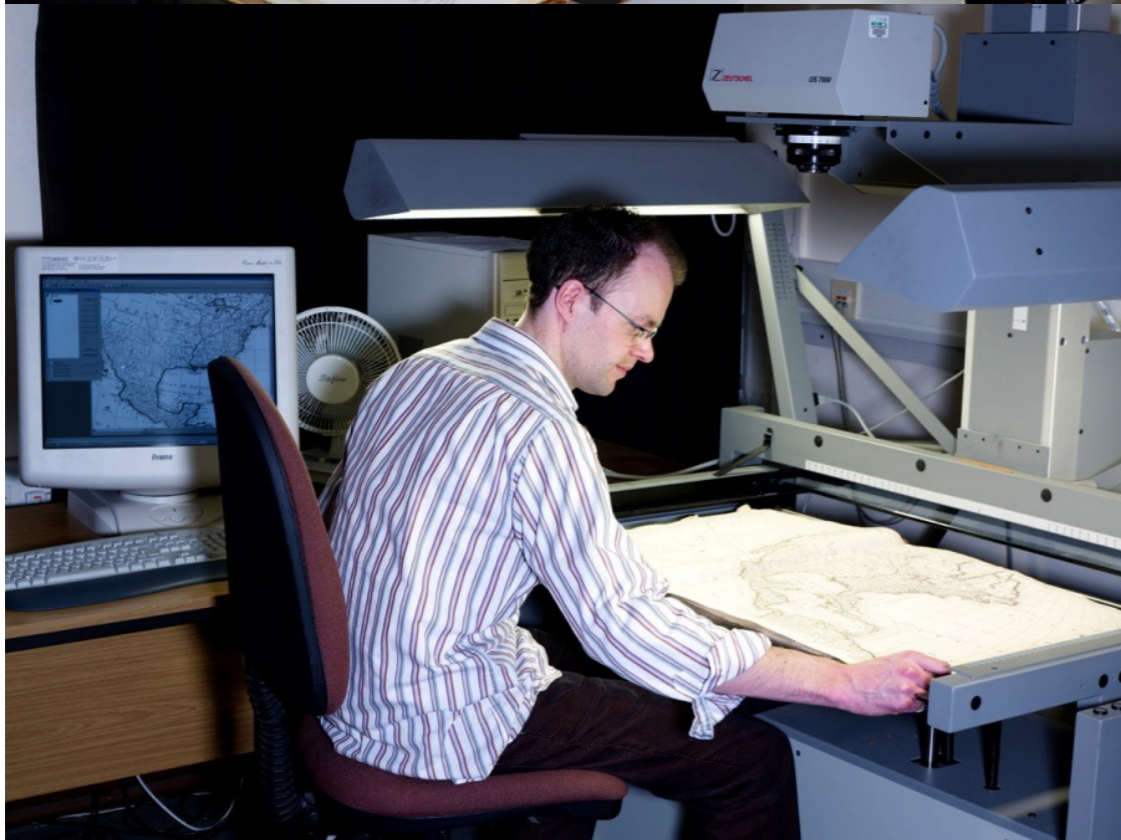


Perceptuální metoda plynule srazí větší gamut do menšího. Žádná kresba se sice neztratí, všechny barvy se ale mírně změní.

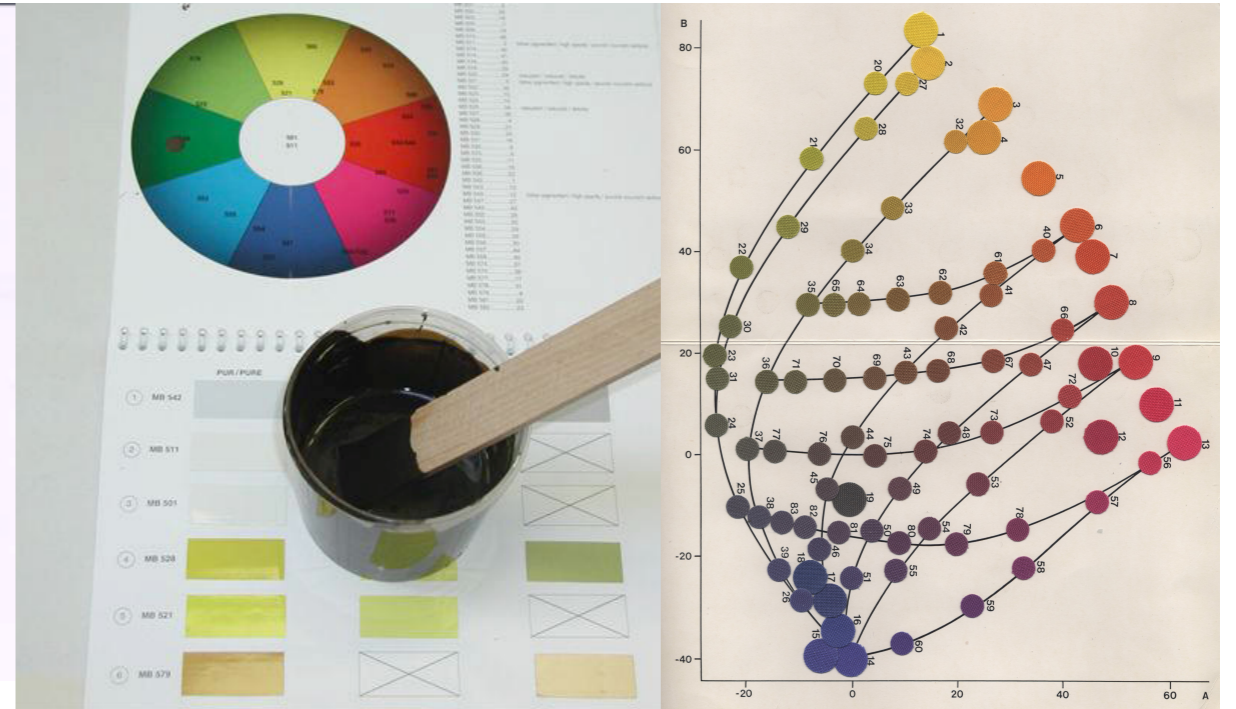
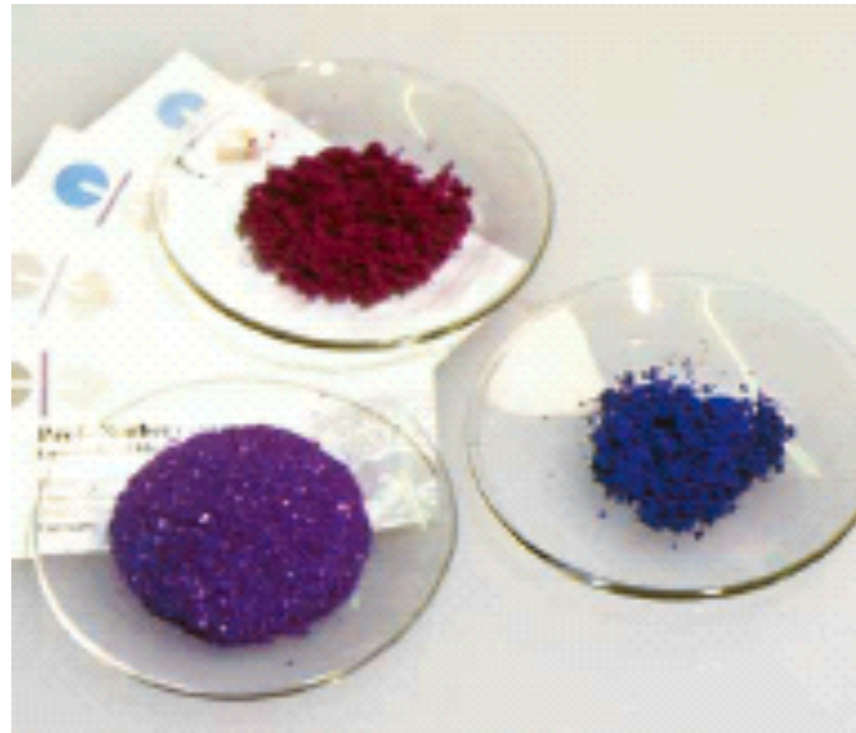
Absolutní kolorimetrická



Několik rad na závěr - digitalizace



Koloranty a Receptování



Koloranty

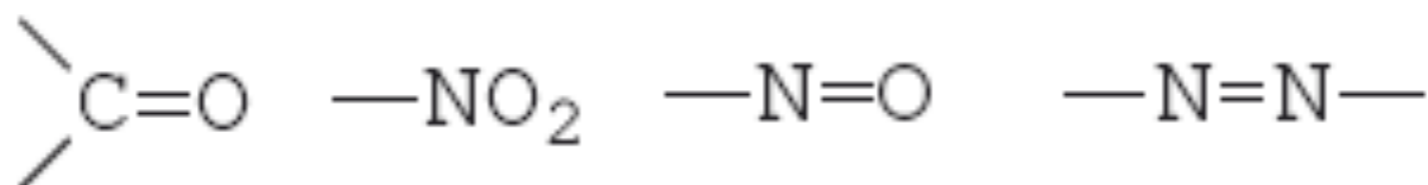
- Kolorant je obecný název pro barevné látky zahrnující jak barviva, tak pigmenty (v české odborné literatuře je často používán pojem barvivo i pro pigmenty).
- Barviva - na substrátu jsou přítomna v monomolekulární formě (příp. ve formě jednoduchých asociátů). Při barvení se aplikují z kapalného prostředí, ve kterém jsou zcela nebo částečně rozpustná – nedochází k rozptylu světla.
- Pigmenty – na substrátu jsou přítomny ve formě částic, jsou nerozpustné jak ve vodě, tak i v organických rozpouštědlech – dochází k rozptylu světla.

Kvalitativní teorie barevnosti organických látek

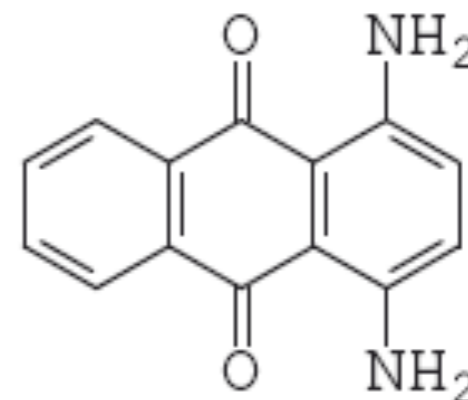
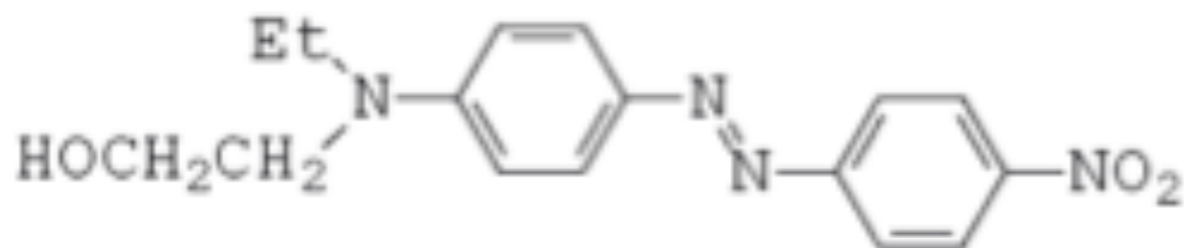
I

(Wittova teorie z roku 1876, v současnosti kvantová chemie)

- Je-li do bezbarvé organické sloučeniny zavedena nenasycená skupina (chromofor), např.:

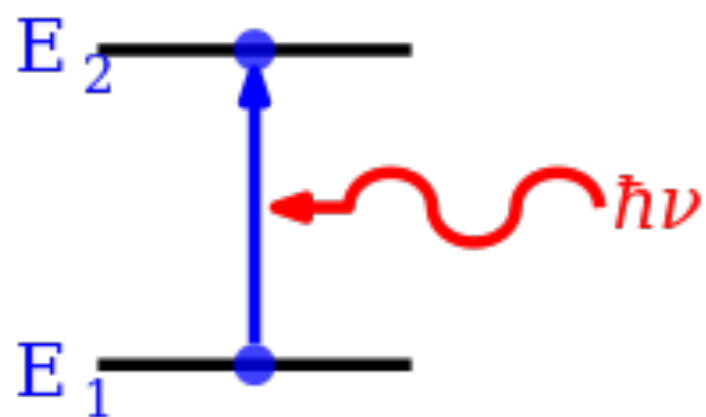


- vznikne barevná sloučenina (chromogen), např. azobenzen nebo antrachinon, která však ještě není barvivem, neboť její barevnost je slabá.
- Teprve zavedení další skupiny (auxochromu), např. -OH, -NH₂, -SH, barvu zintenzivní a molekula se stává barvivem.



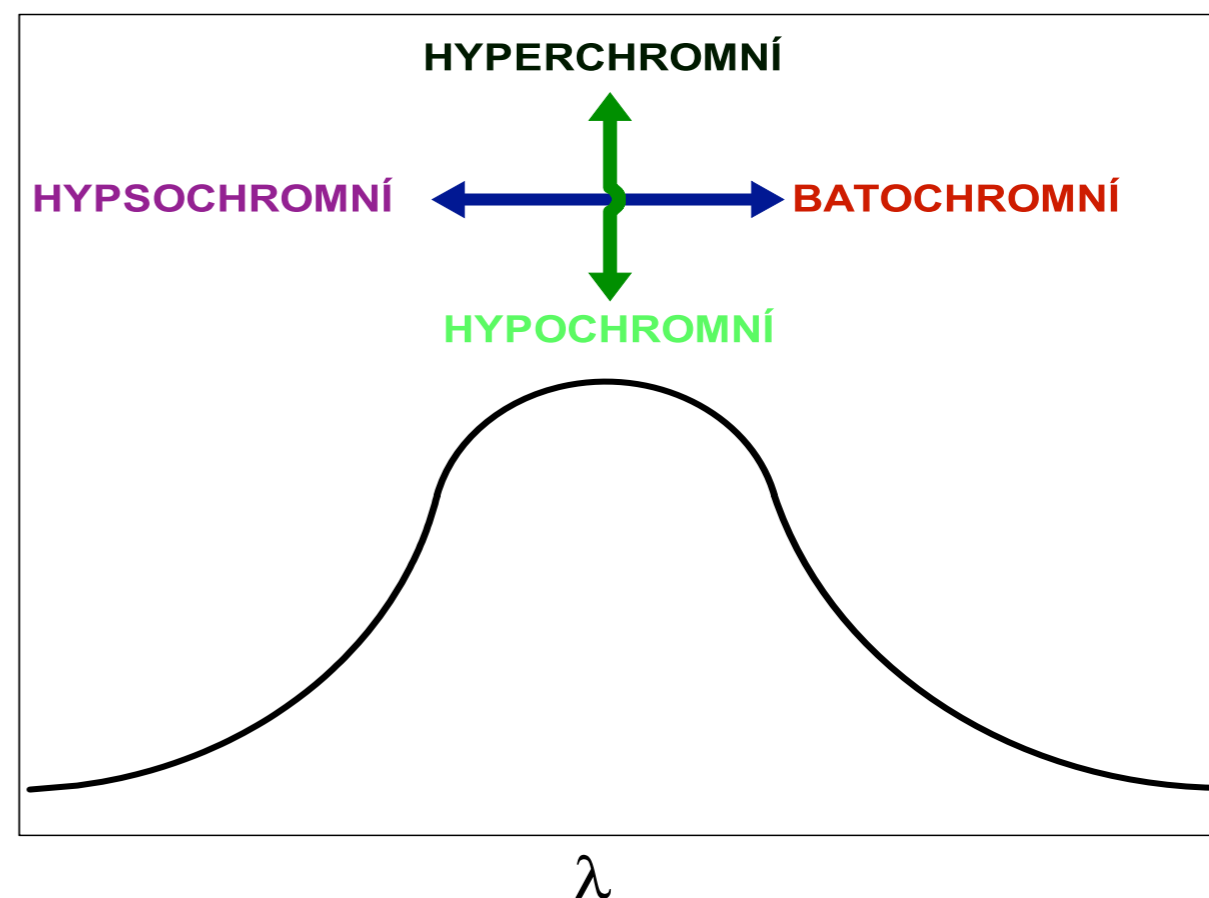
Kvalitativní teorie barevnosti organických látek II

Každá molekula barviva má určitý obsah energie a je schopna absorbovat energetická kvanta světelné energie, tj. fotony. Pohlcení fotonů molekulou barviva však není libovolné. Pohlcuje se totiž vždy jen takové záření, jehož energie je shodná nebo velmi podobná energii molekuly barviva. Tento poznatek vysvětluje, proč barevný vjem vzniká právě selektivní absorpcí určité vlnové délky.


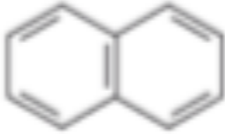
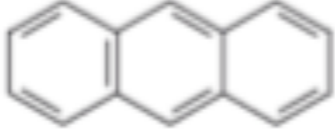
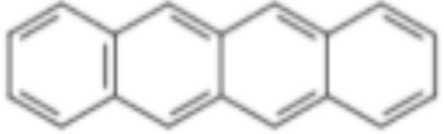
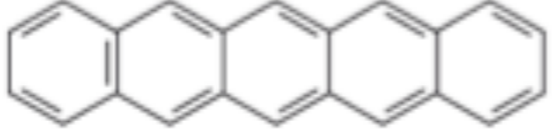
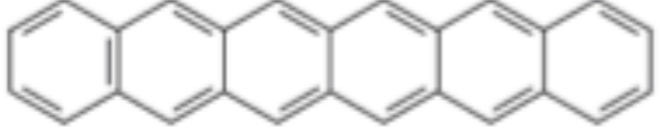


$$\Delta E = h\nu = hc/\lambda$$

A



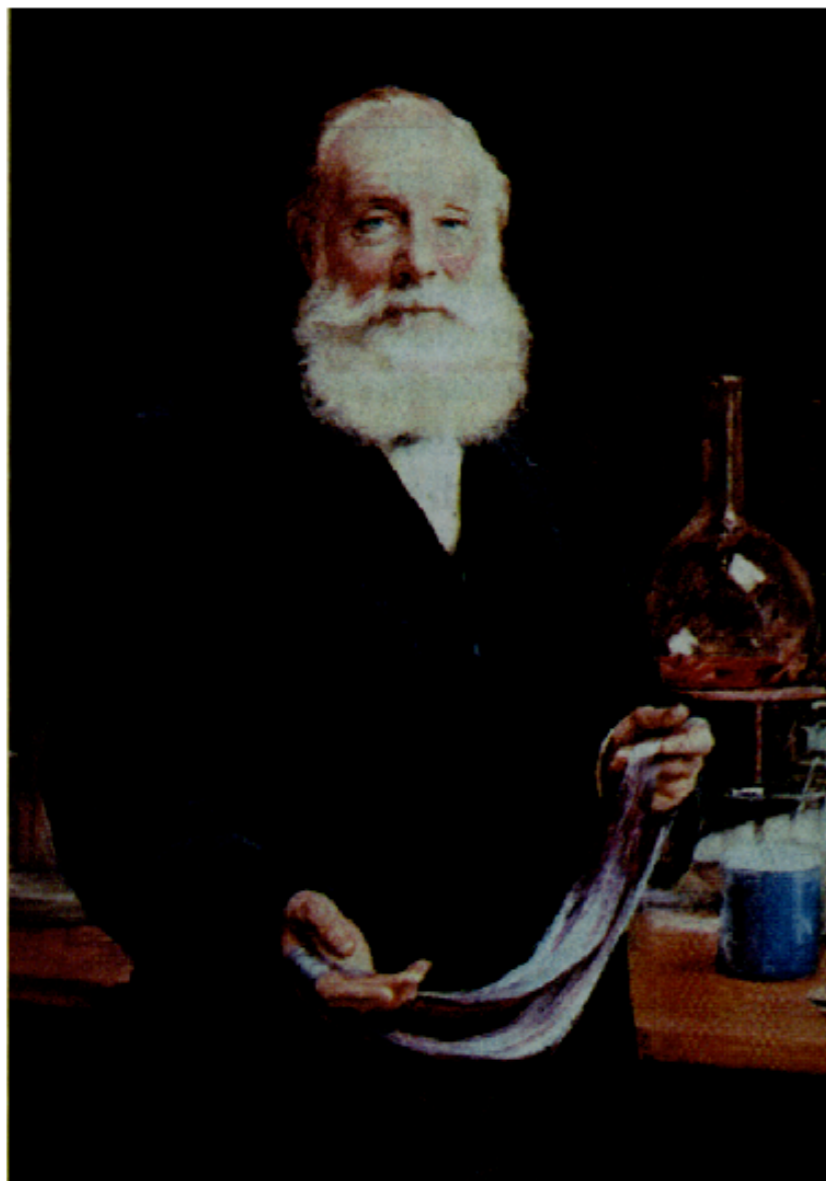
Excitační energie a dlouhovlnné absorpční pásy aromátu

| Sloučenina | Vzorec | E [kJ.mol ⁻¹] | λ_{max} [nm] | Barva |
|------------|---|---------------------------|-----------------------------|--------------|
| benzen |  | 471 | 255 | bezbarvý |
| naftalen |  | 383 | 311 | bezbarvý |
| anthracen |  | 324 | 370 | bezbarvý |
| tetracen |  | 261 | 460 | oranžový |
| pentacen |  | 207 | 580 | fialový |
| hexacen |  | 173 | 693 | modro-zelený |

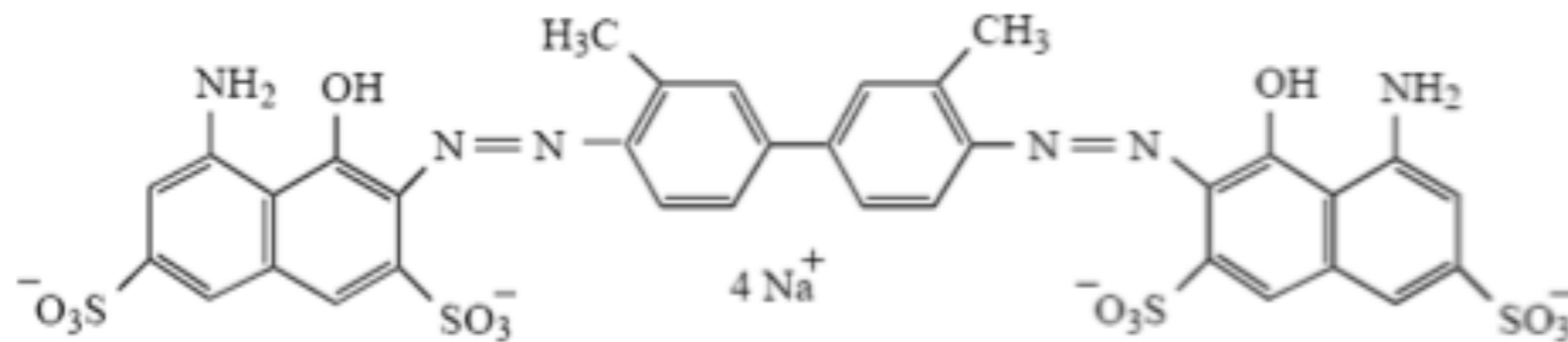
Klasická barviva I



Klasická barviva II

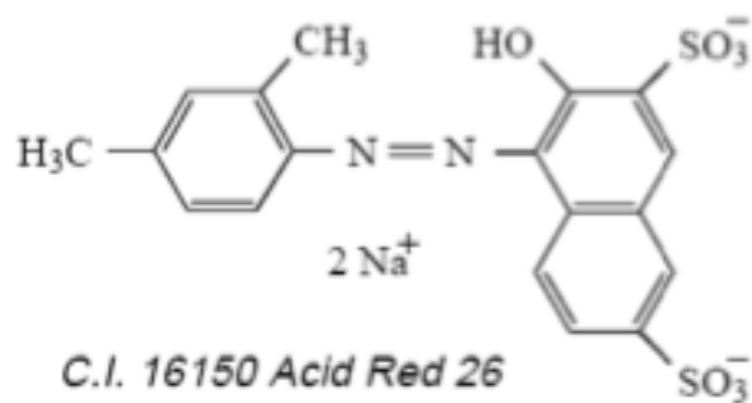
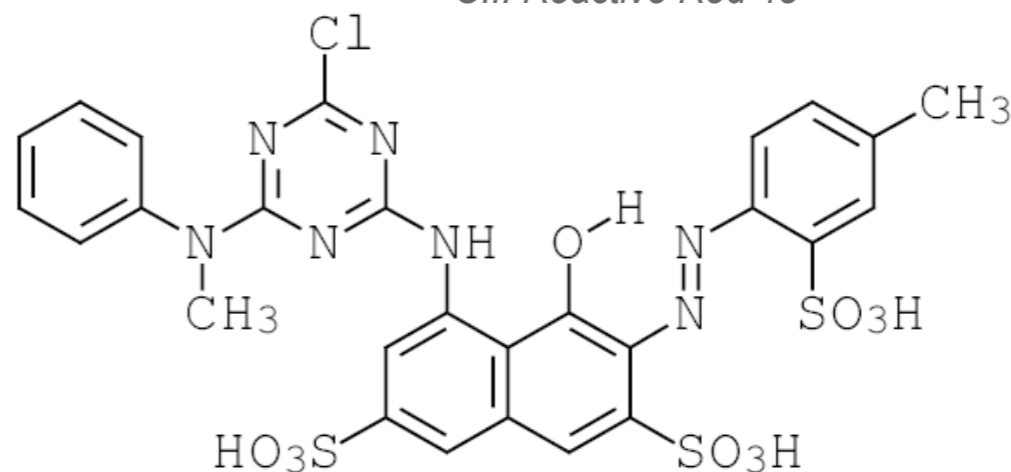


H.W. Perkin
objev mauveinu 1856

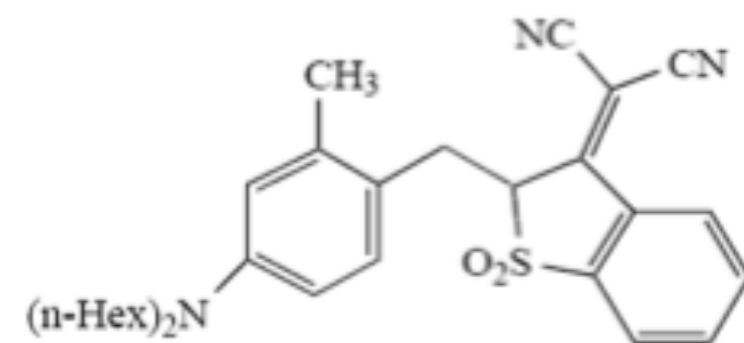


C.I. 23850 Direct Blue 14

C.I. Reactive Red 45



C.I. 16150 Acid Red 26



Foron Brilliant Blue S-R

Funkční barviva

- Ionochromní látky – indikace iontů
- Hygro-chromní látky – indikace vlhkosti
- Solvato-chromní látky – indikace rozpouštění
- Chemo-chromní látky – indikace chemikálií (nebezpečné plyny, chemické bojové látky atd.)
- Elektro-chromní látky – indikace napětí
- Piezo-chromní látky – indikace tlaku
- Termo-chromní látky – indikace teploty
- Foto-chromní látky – indikace UV, VIS a NIR záření

Termochromismus

Day ve své práci definoval termochromismus jako znatelnou reversibilní barevnou změnu způsobenou bodem varu tekutiny, bodem varu rozpouštědla v případě roztoku nebo bodu tání u pevných látek.



Termochromní
keramika



před



po



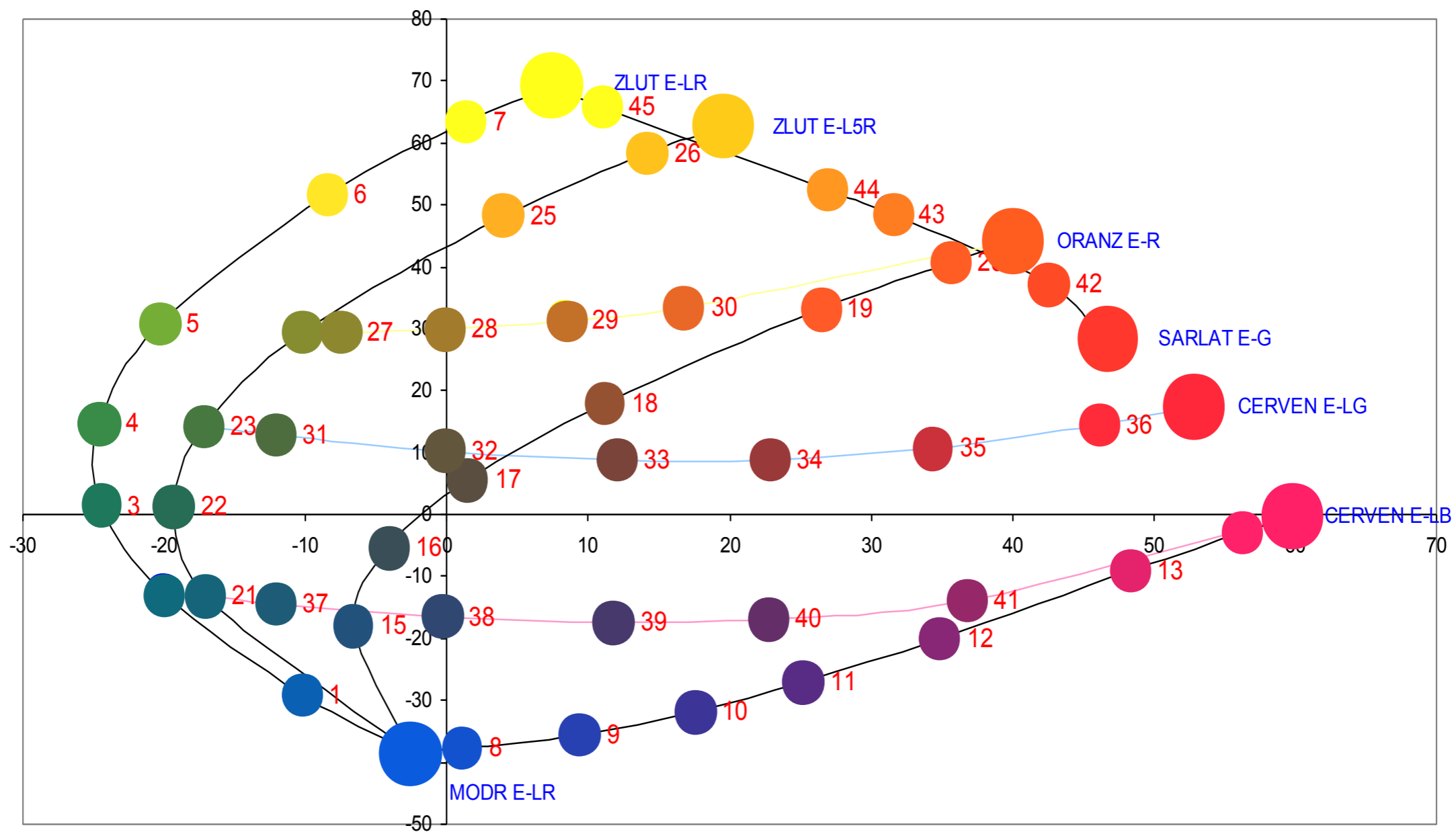
před



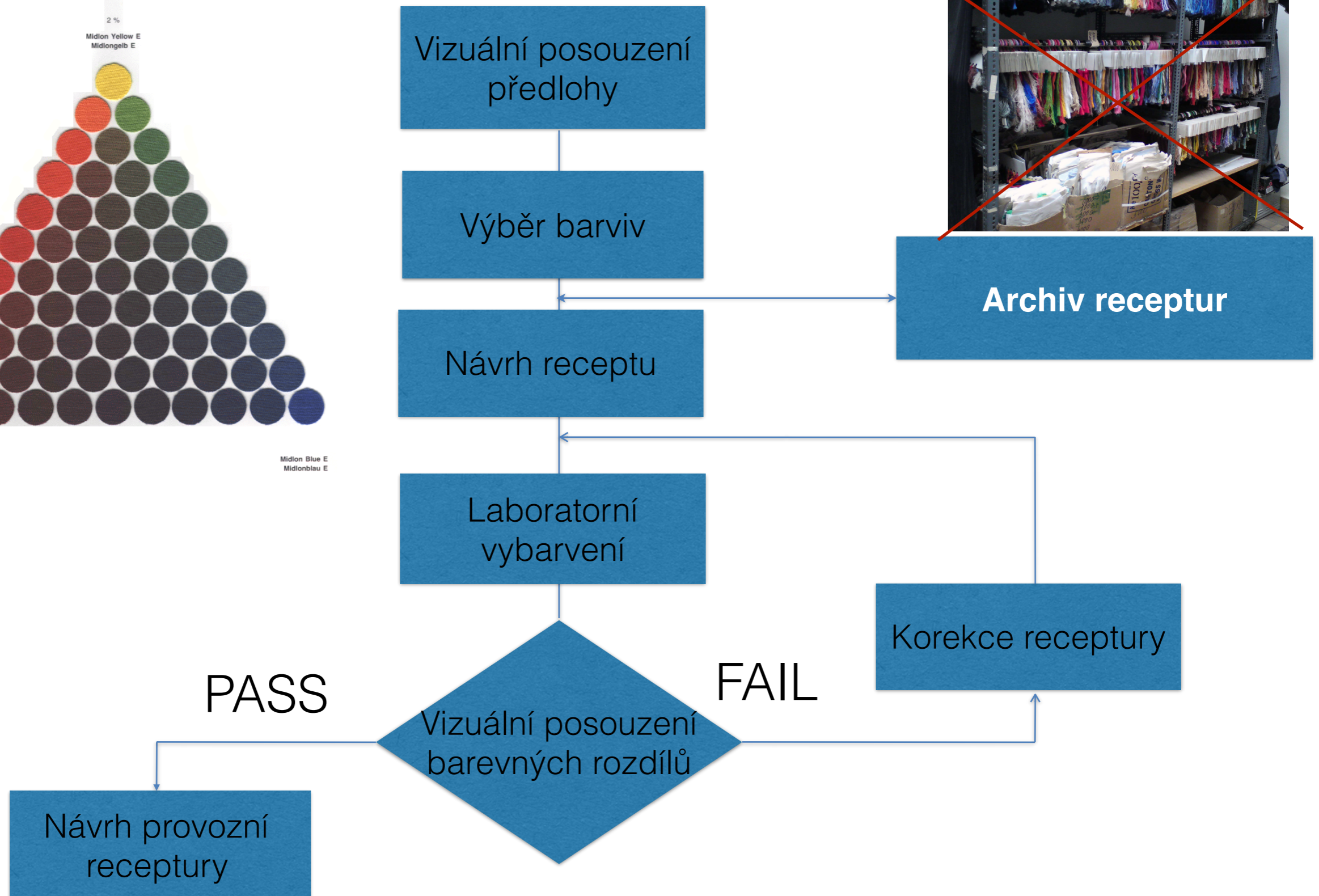
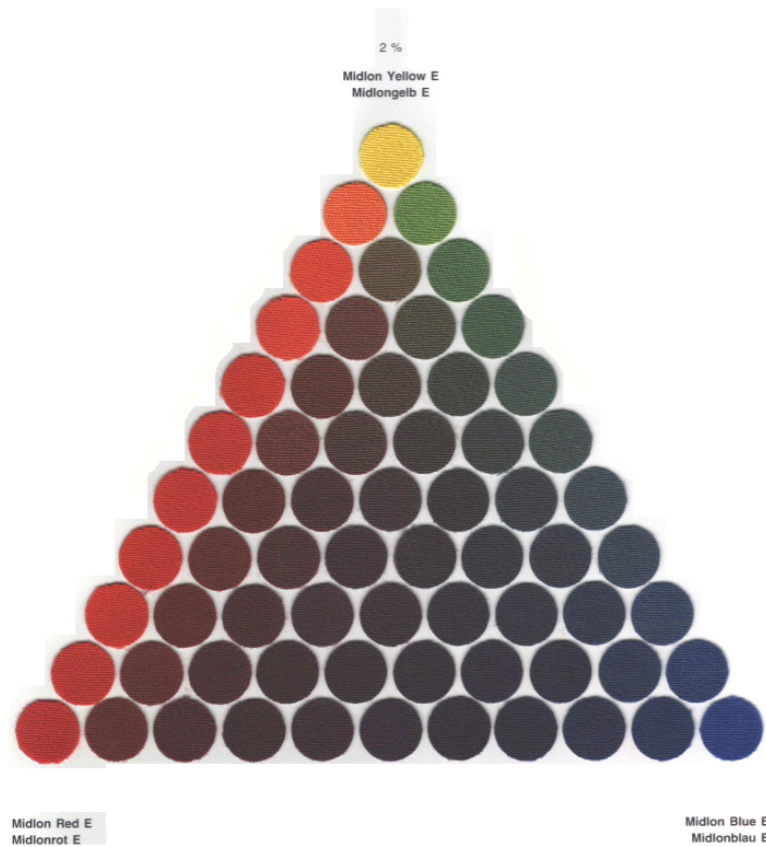
po

Hračky McDonalds

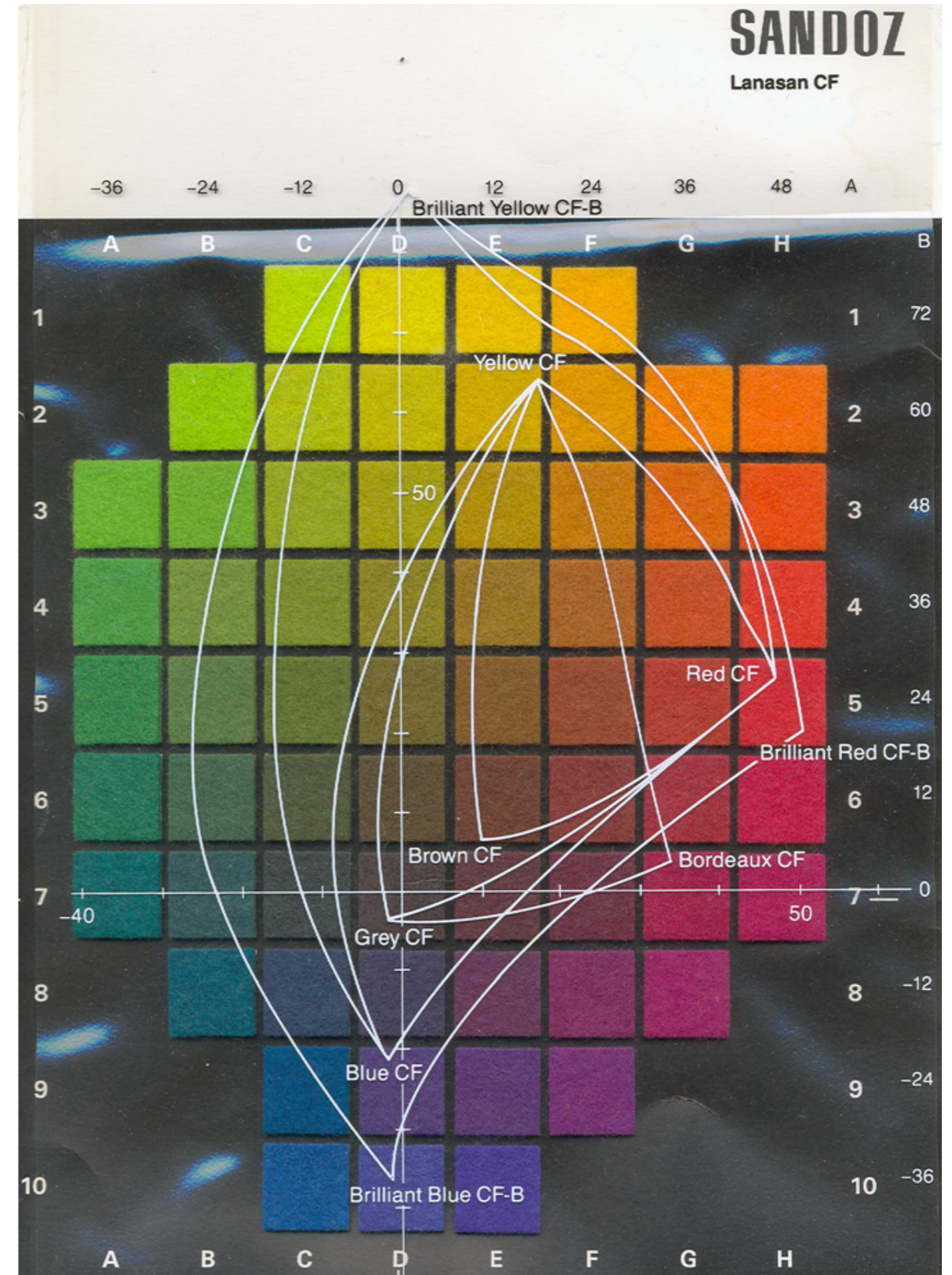
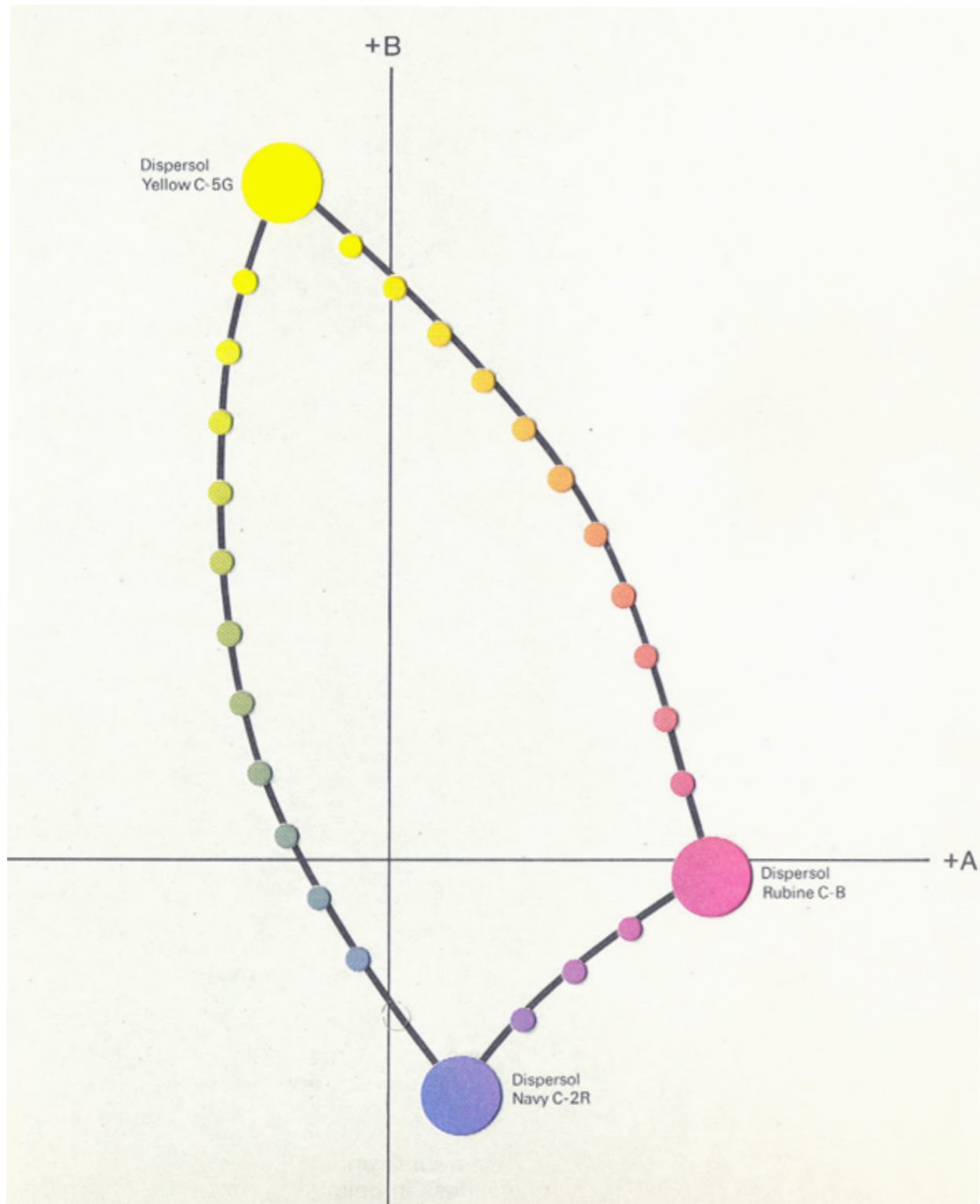
Receptování



Vizuální receptování



Vzorovací gamut



Jednoduché míchání a nuancování

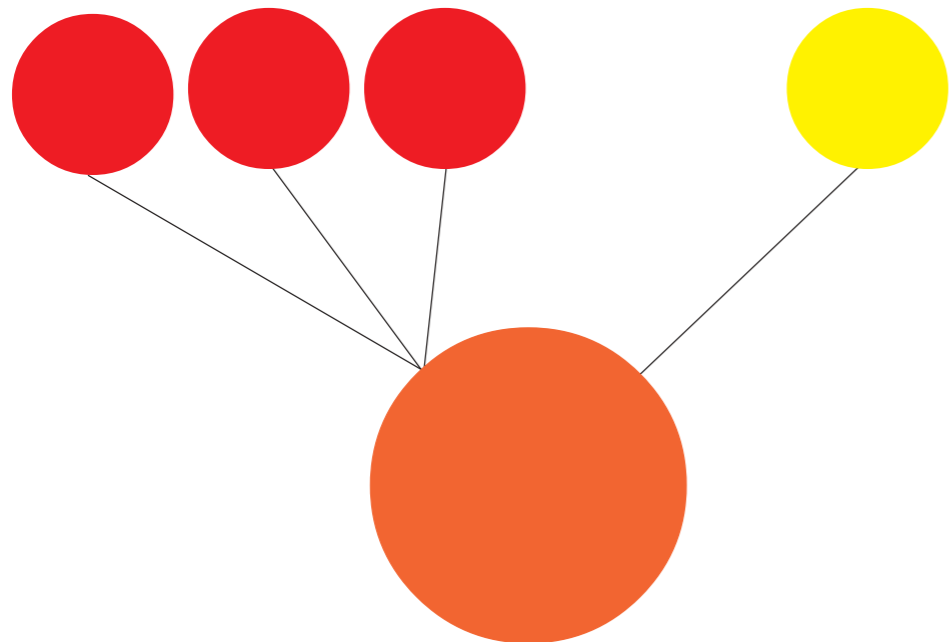


Směs červeného a modrého pigmentu v poměru 1:1 vytváří tmavou hněd'

Jednoduché míchání a nuancování

3 díly červeně +

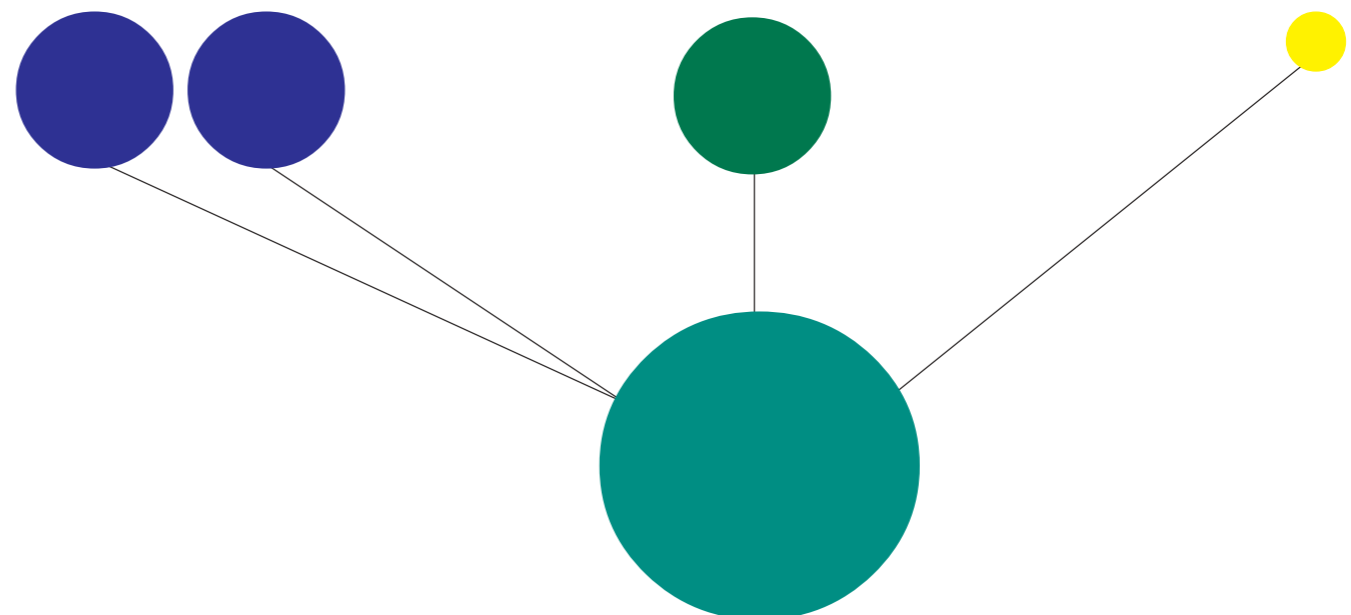
1 díl žlutě



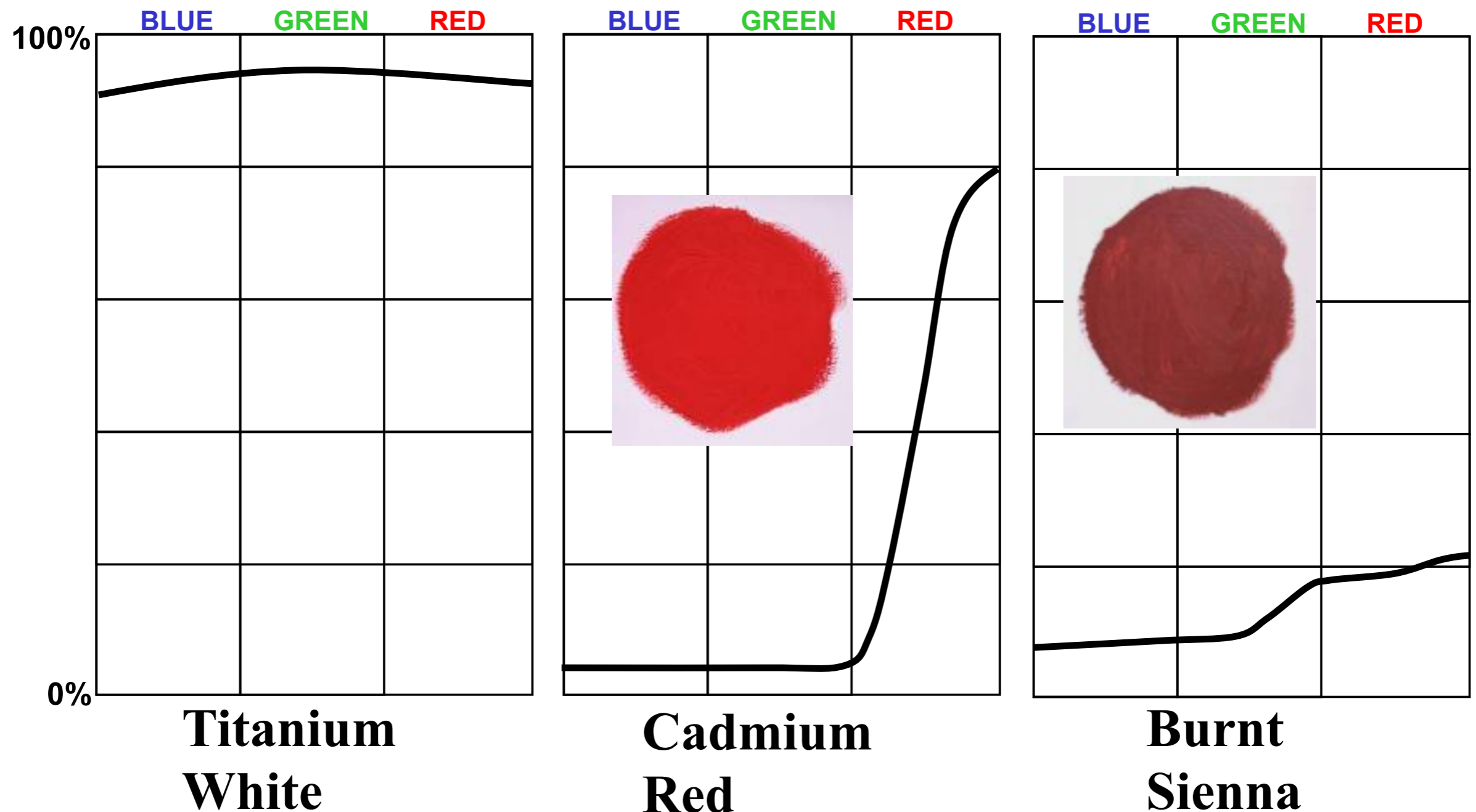
2 díly modře +

1 díl zeleně +

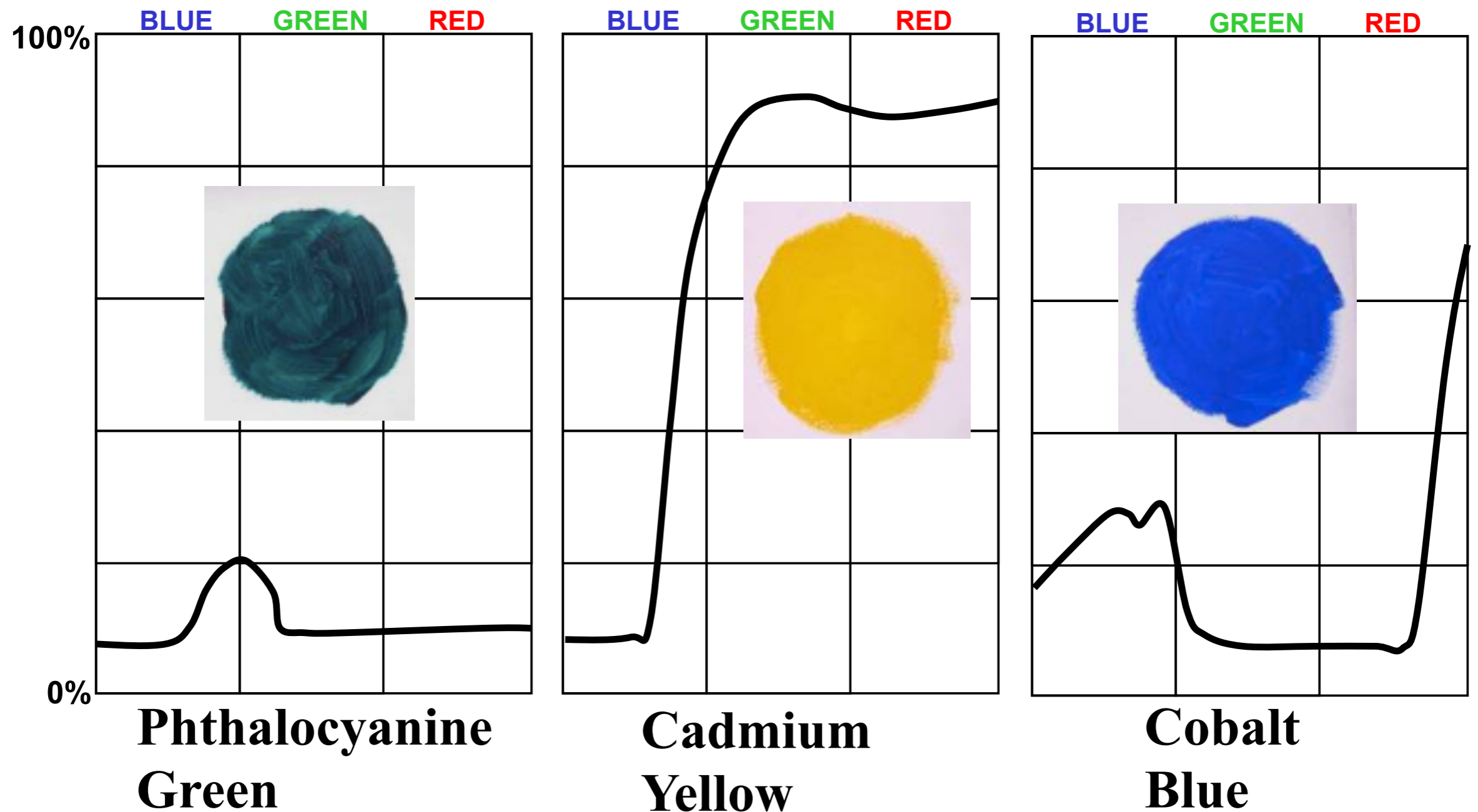
“dotek” žlutě



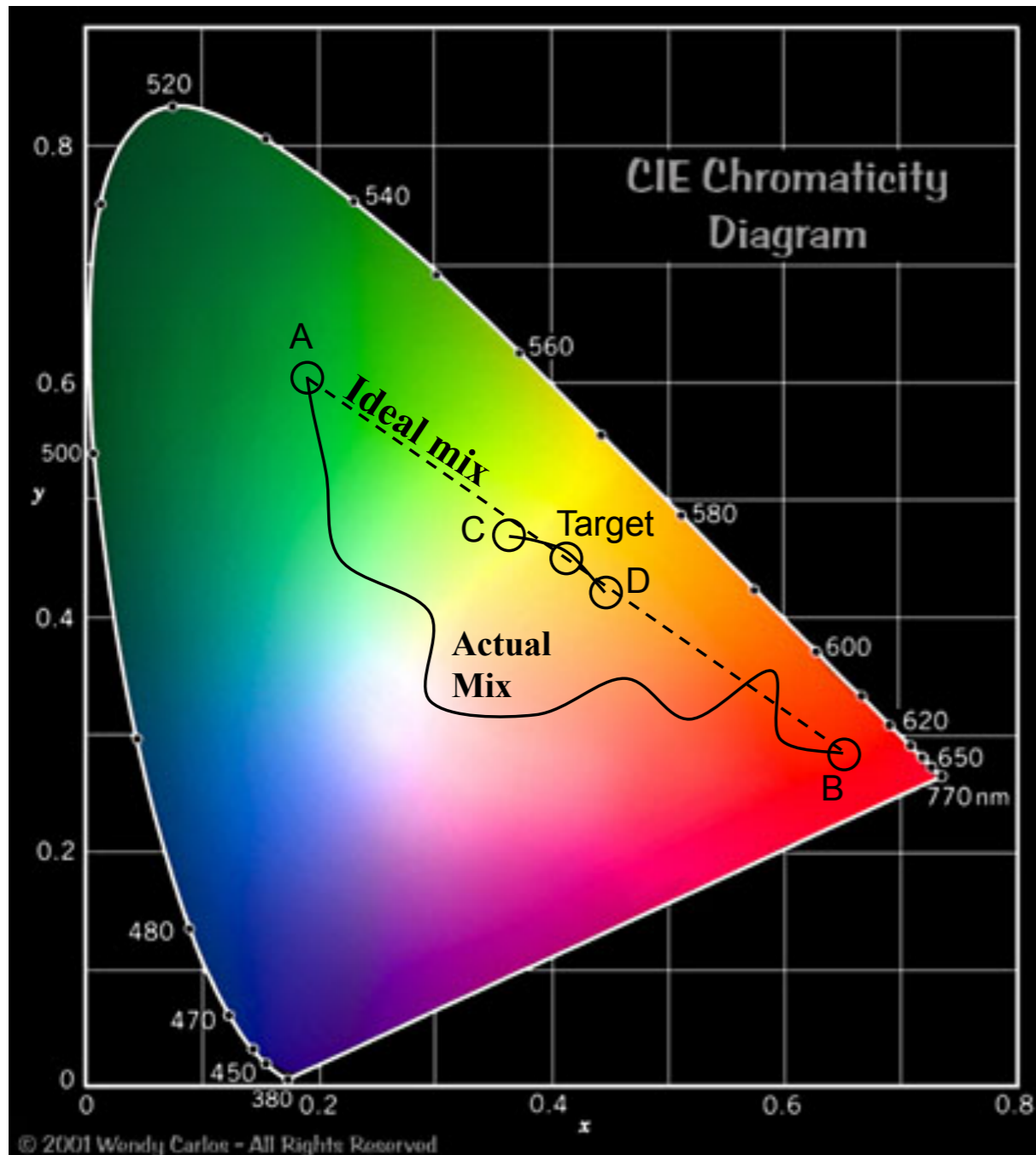
Názvy a typické odrazivostní křivky vybraných pigmentů



Názvy a typické odrazivostní křivky vybraných pigmentů



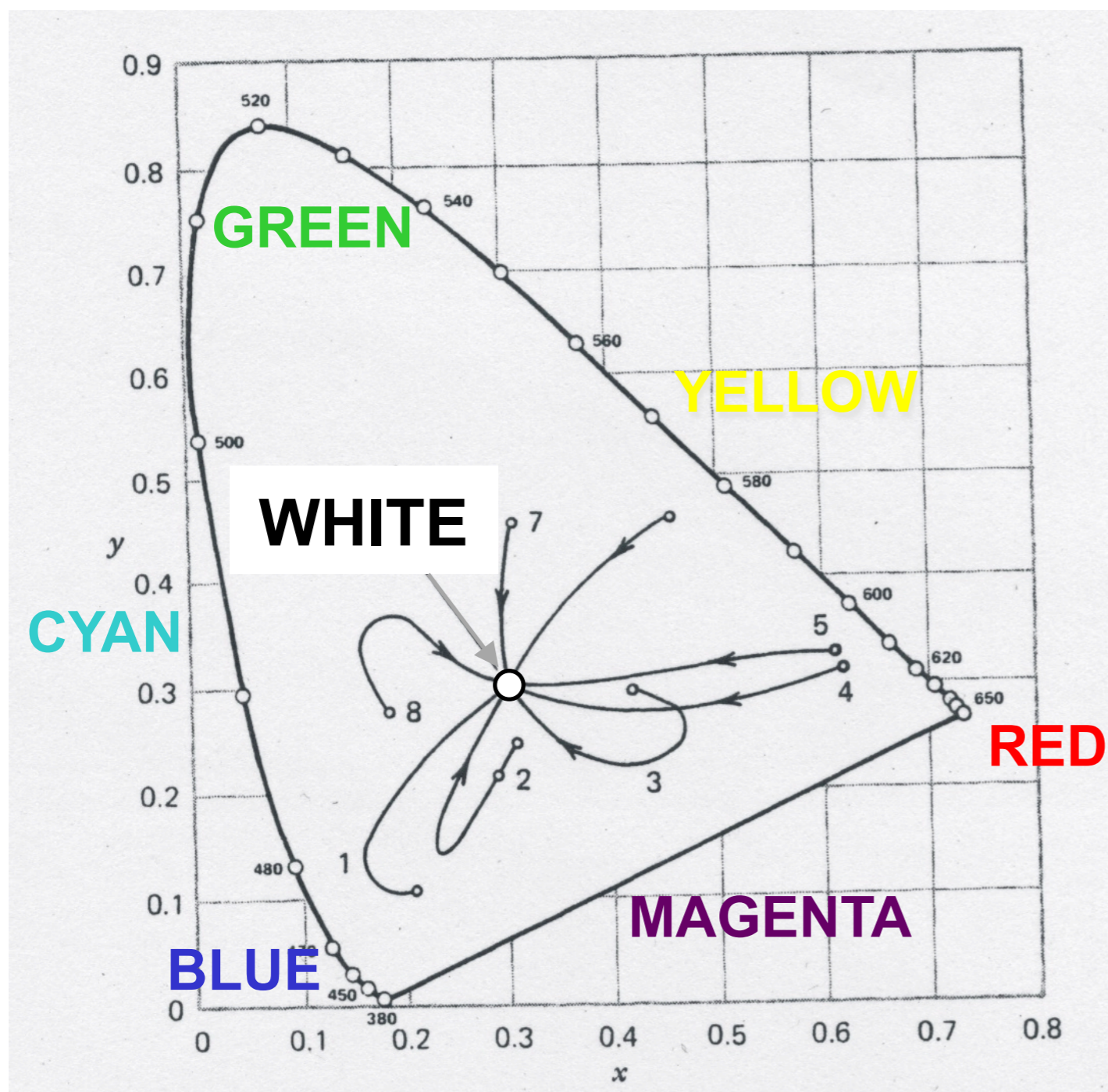
Míchání pigmentů - problém chromacity - vzdálené vs. blízké



Odhad receptury, která by odpovídala hledané předloze je v případě “vzdálených” odstínů (A-B) podstatně složitější než u “blízkých” odstínů (C-D).

Důvodem je skutečnost, že výsledkem kombinací lineárních změn koncentrací pigmentů jsou nelineární změny kolorimetrických, potažmo vzhledových charakteristik výsledných směsí. V případě “blízkých” odstínů nejsou odchylky od linearitu tak významné.

Vliv koncentrace na kolorimetrické souřadnice vybraných



Během zvyšování, nebo snižování koncentrace barviv či pigmentů dochází nejen ke změně excitační čistoty, ale také k odstínovým posunům.

U většiny pigmentů dochází s nárůstem koncentrace ke změně kolorimetrických souřadnic tak, že nejprve narůstá excitační čistota, pak následuje změna dominantní vlnové délky protisměru hodinových ručiček a nakonec se výsledný odstín opět zakaluje.

Weber-Fechnerův zákon

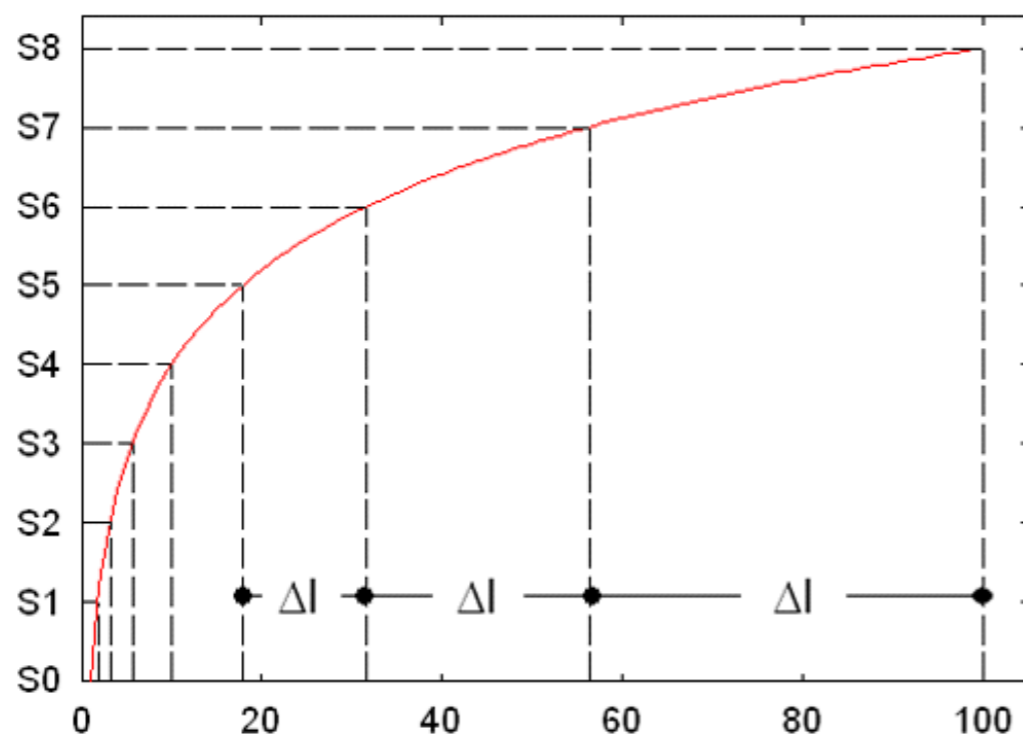
$$S = k \cdot \ln \frac{I}{I_0}$$

S – intenzita subjektivního vjemu;

k – konstanta;

I – fyzikální intenzita podnětu působícího na receptor;

I_0 – prahová intenzita, tedy absolutně nejnižší možná intenzita, jakou je schopný jedinec vnímat.



100g

110g

$\Delta m = 10g$

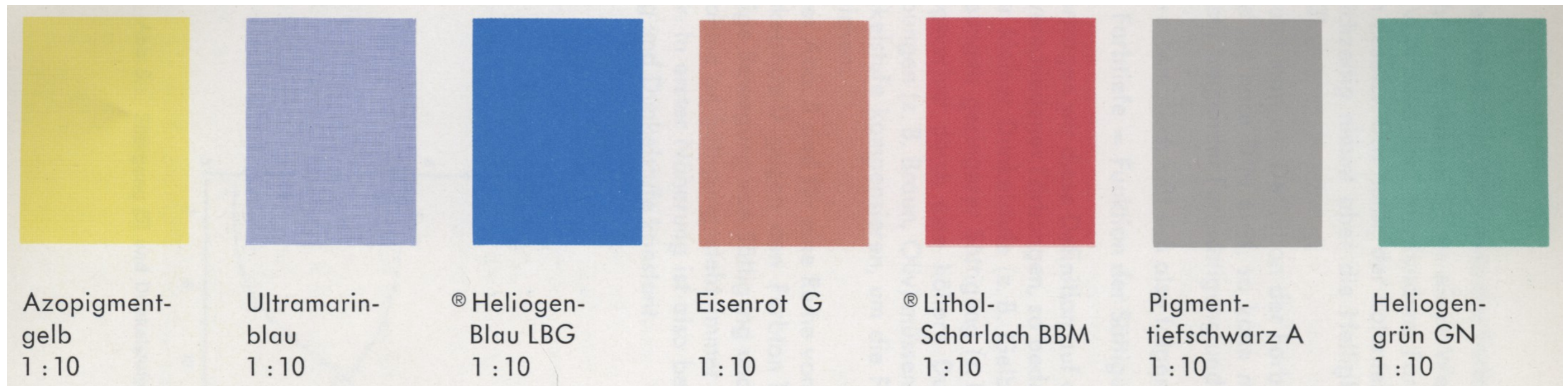


200g

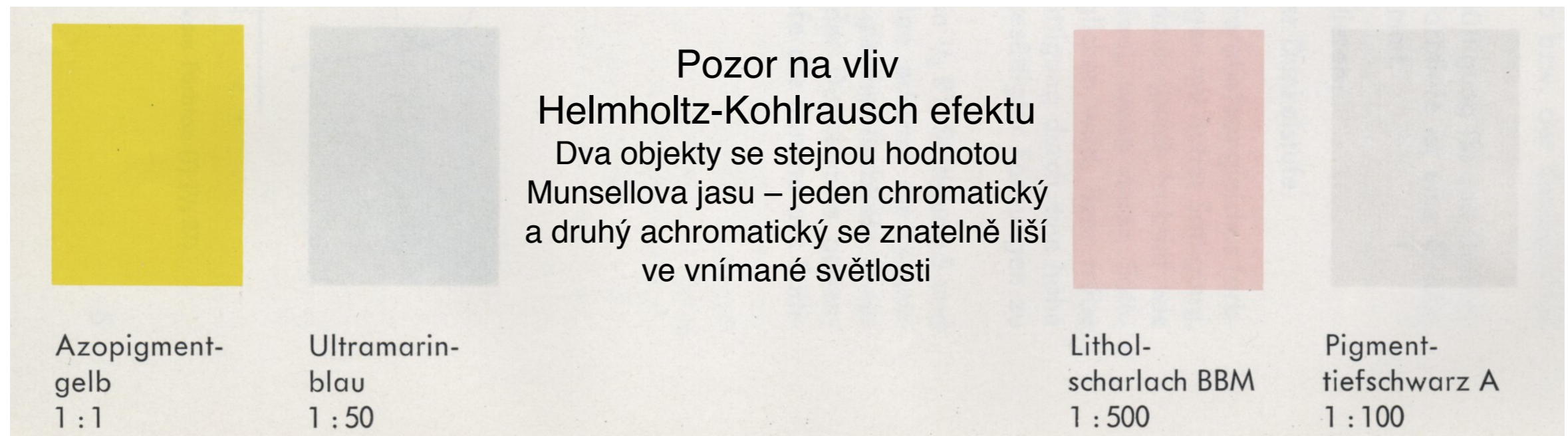
220g

$\Delta m = 20g$

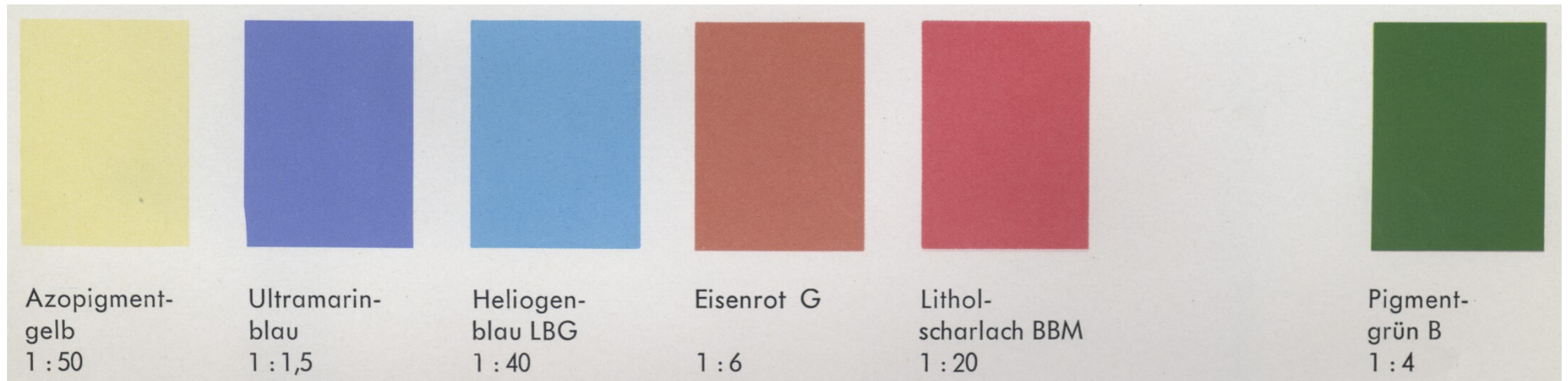
Barevná vydatnost a koncentrace



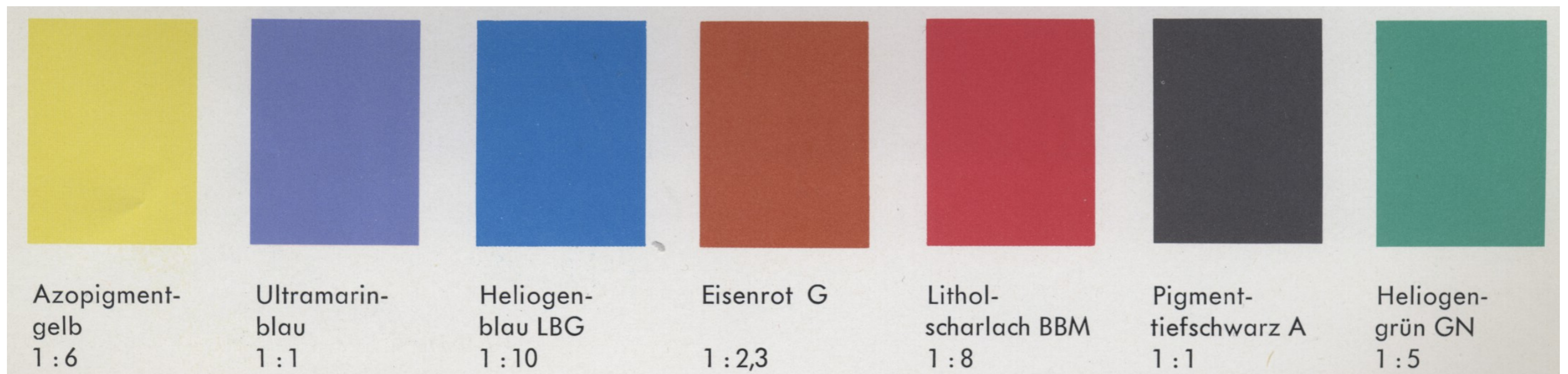
Pigmenty o stejné koncentraci nemají stejnou barevnou vydatnost, typickým problémem je měrná světlost:



Čistota a barevná vydatnost



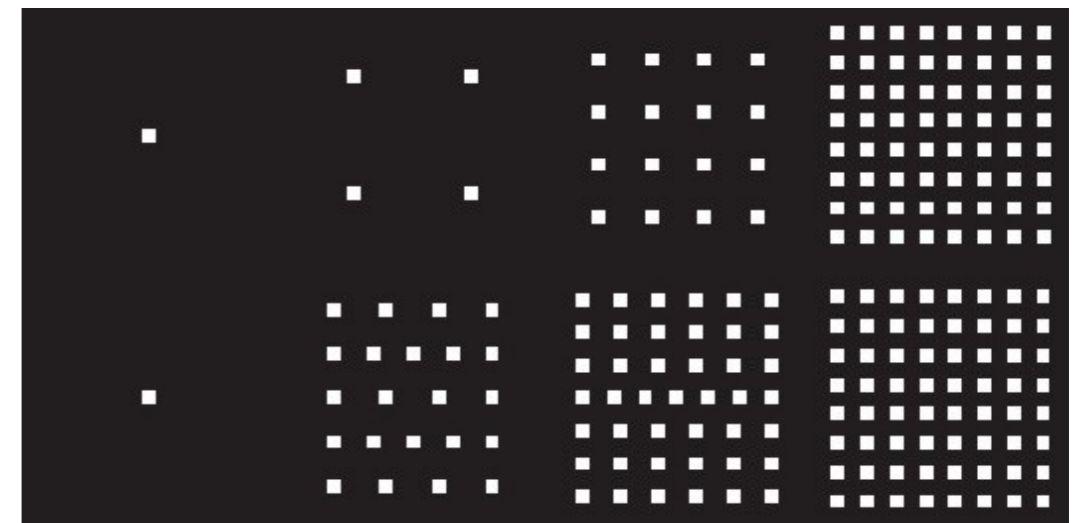
Aby bylo dosaženo stejně vnímané čistoty nebo barevné vydatnosti je nutné používat různé koncentrace pigmentů.



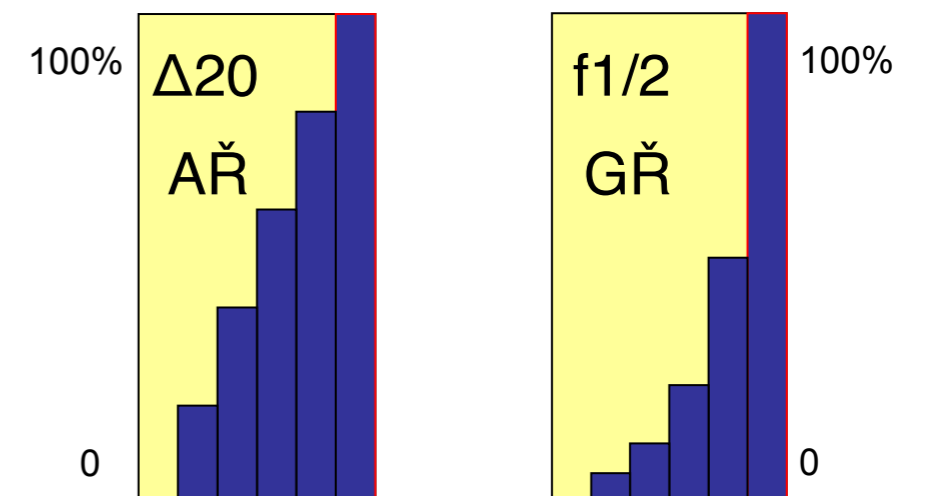
Odhad receptury pomocí lineární škály



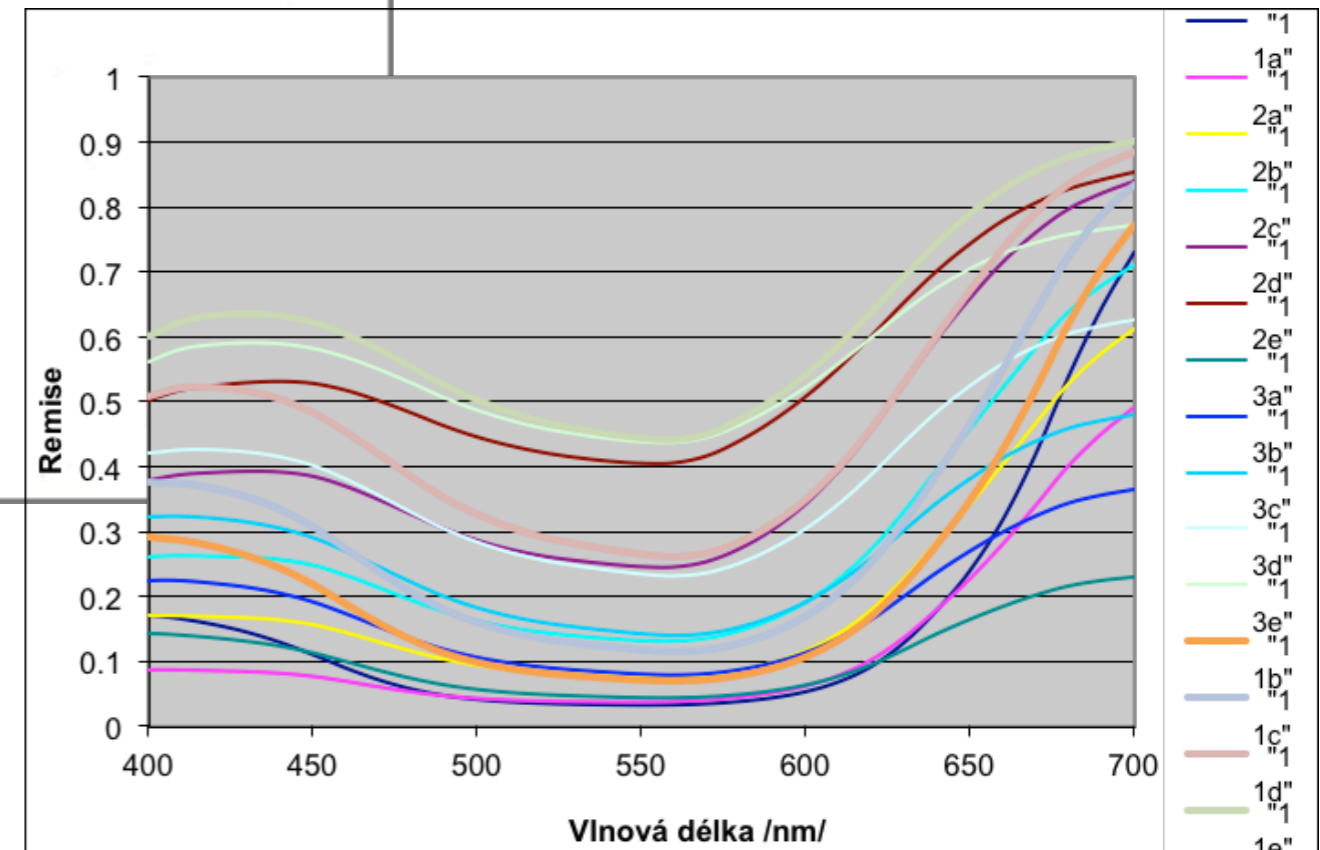
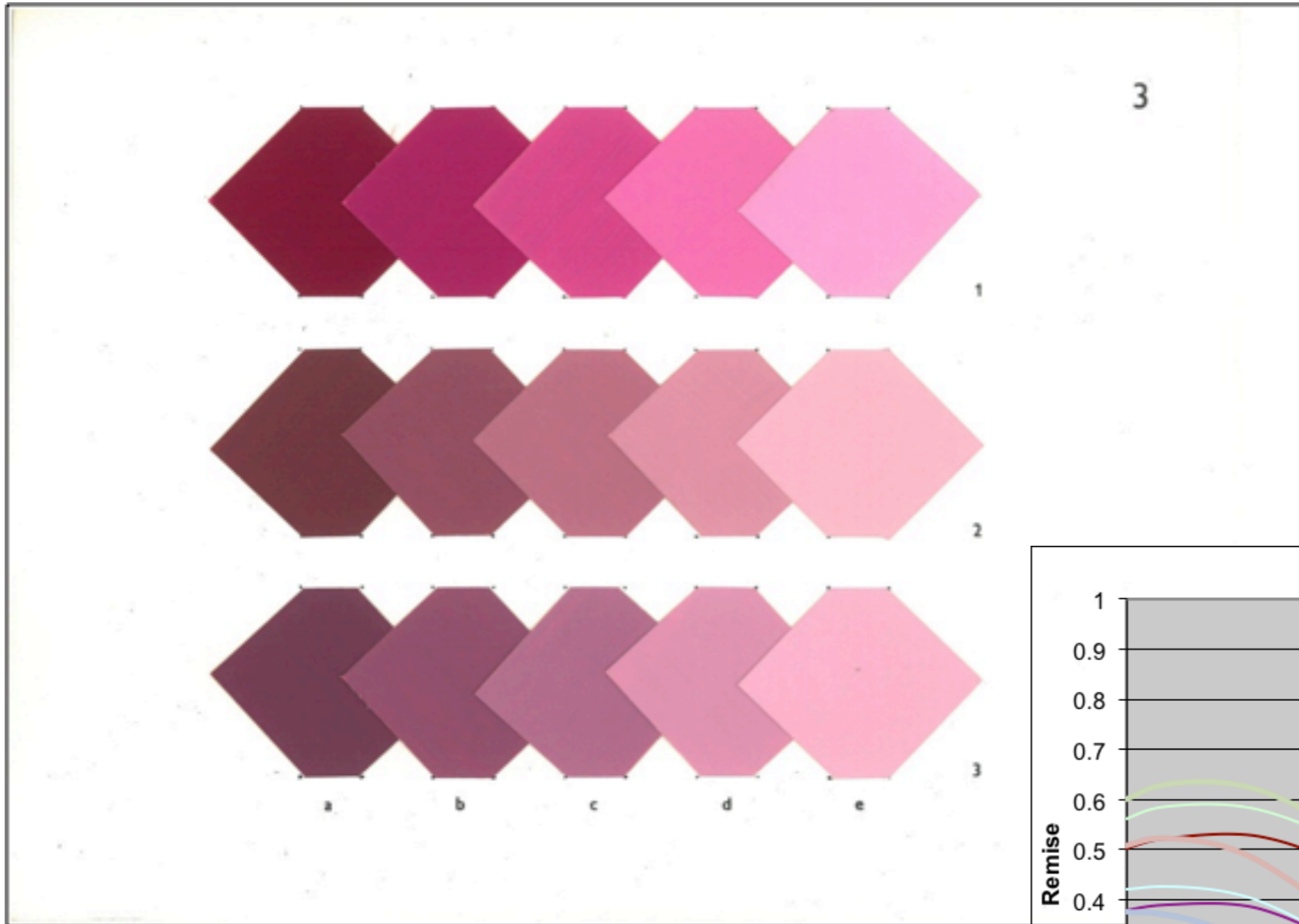
Geometrická řada s konstantním faktorem f_4



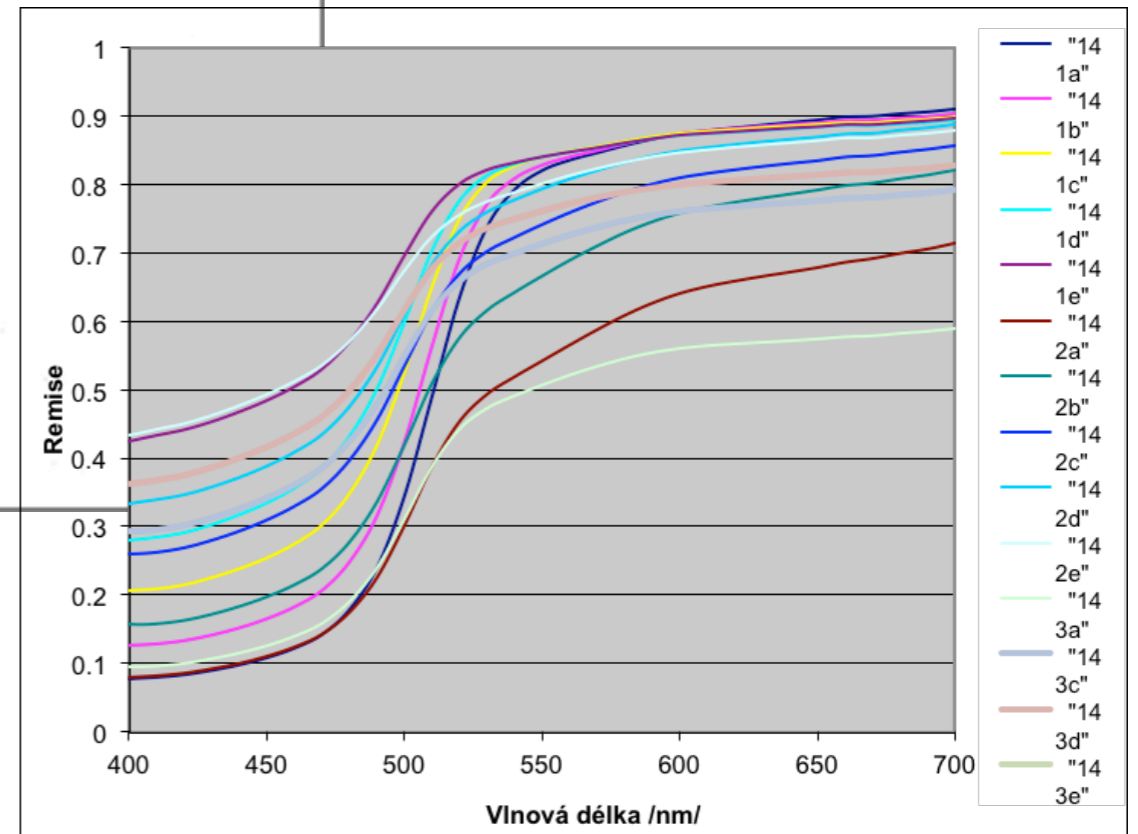
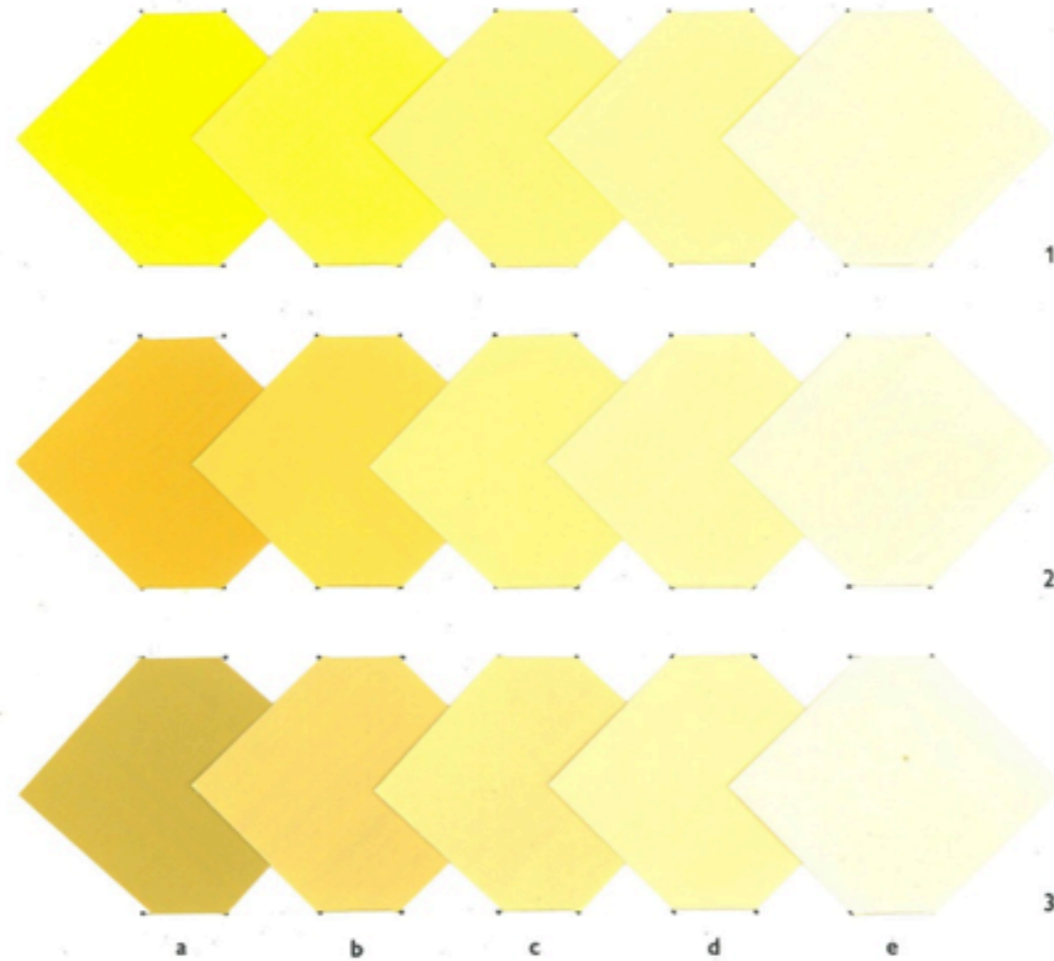
Aritmetická řada s konstantním rozdílem $\Delta 21$



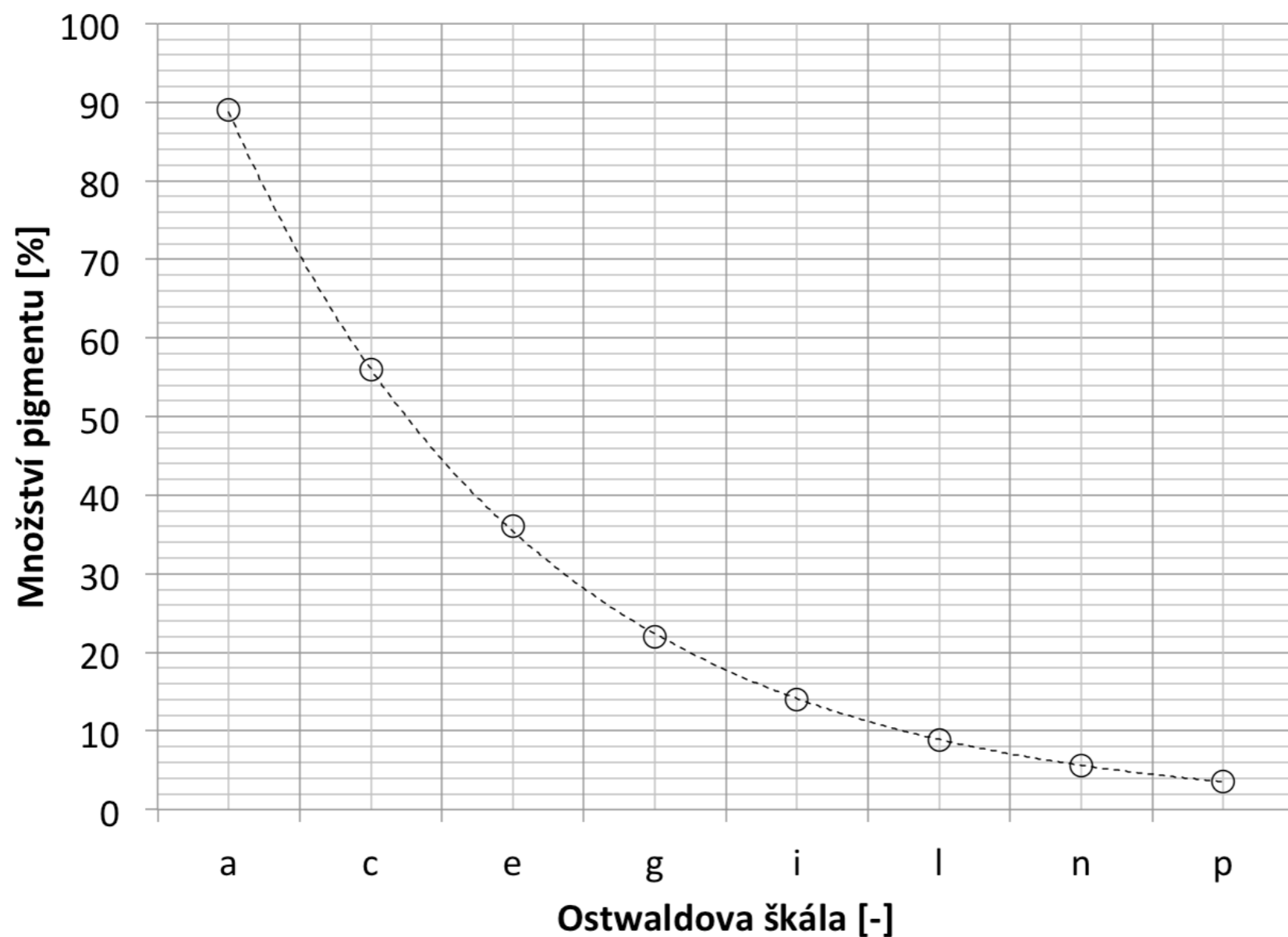
ÚBOK - PhDr. Hejzlar



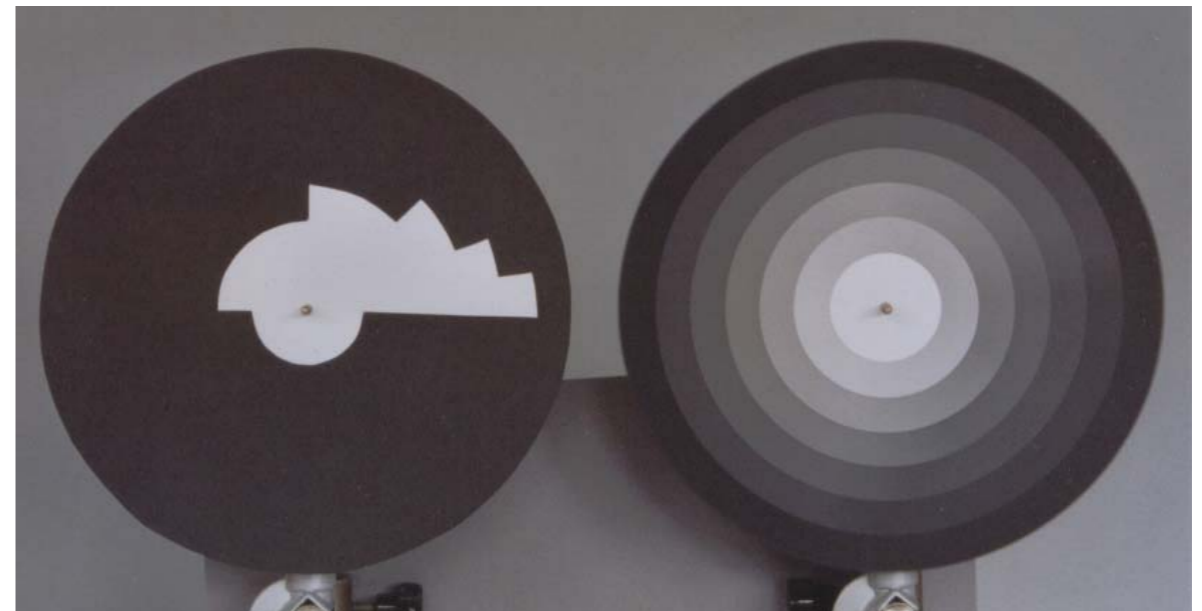
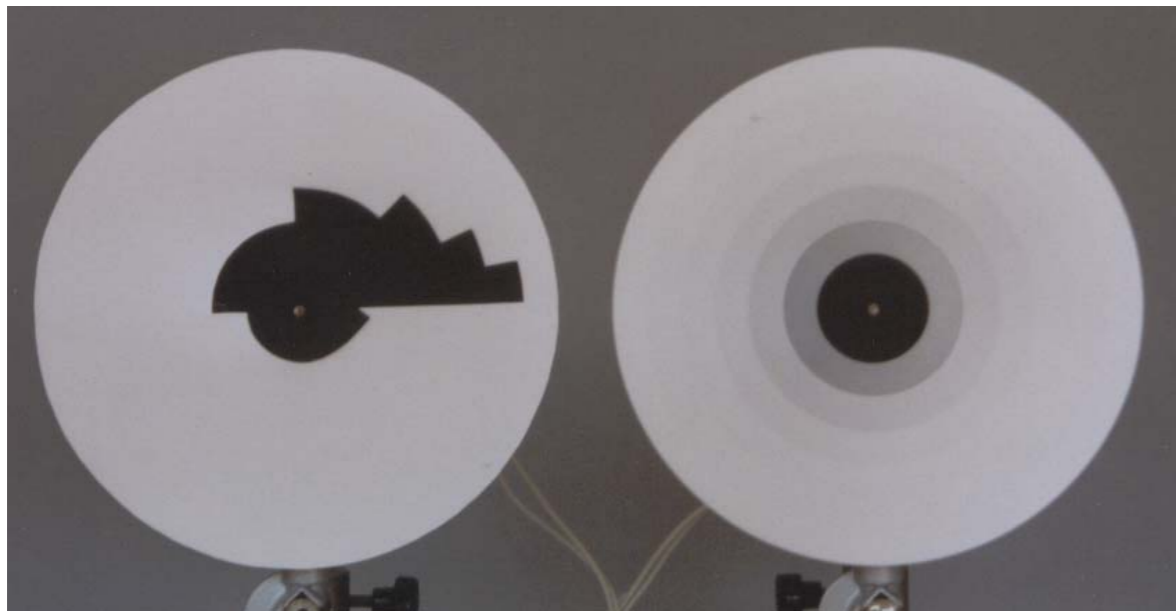
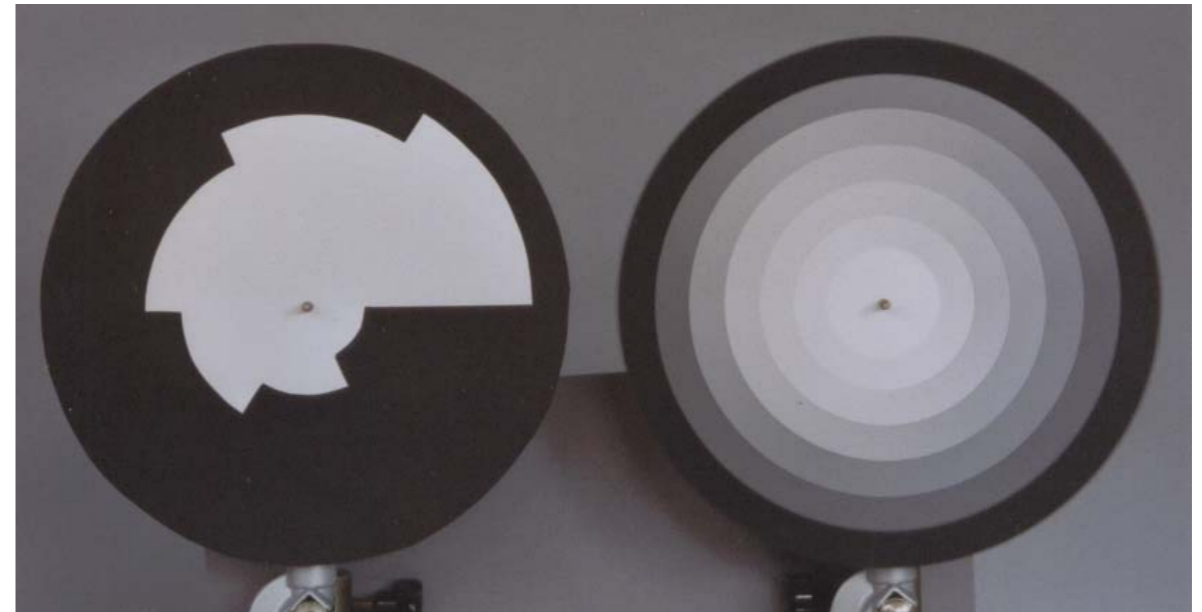
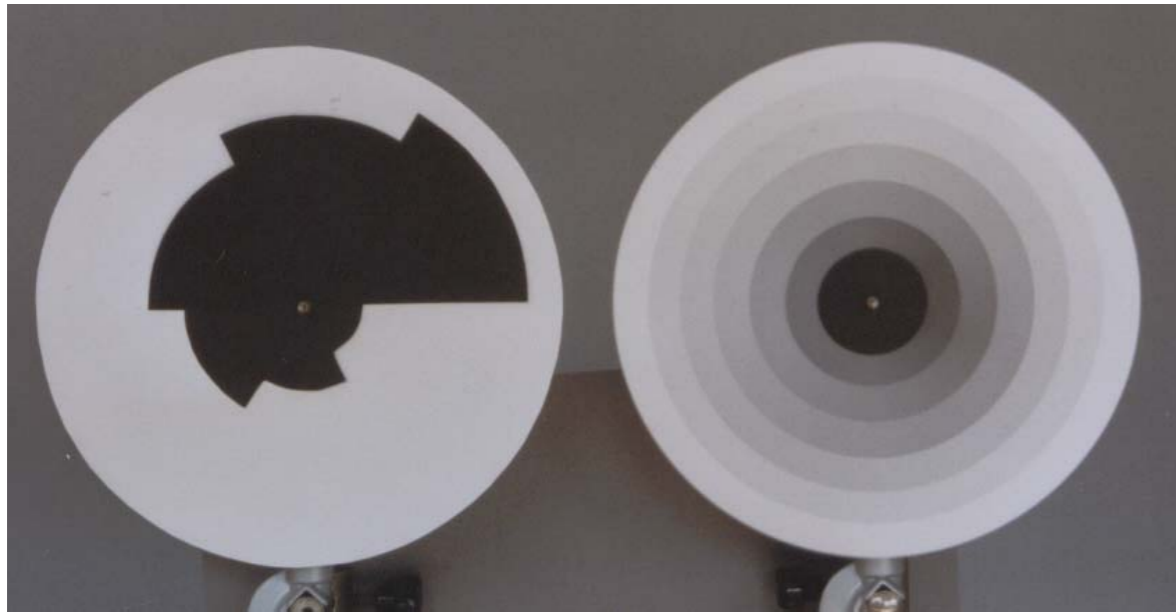
ÚBOK - PhDr. Hejzlar



Vztah mezi barevnou vydatností a koncentrací je nelineární



Problém černobílých přechodů

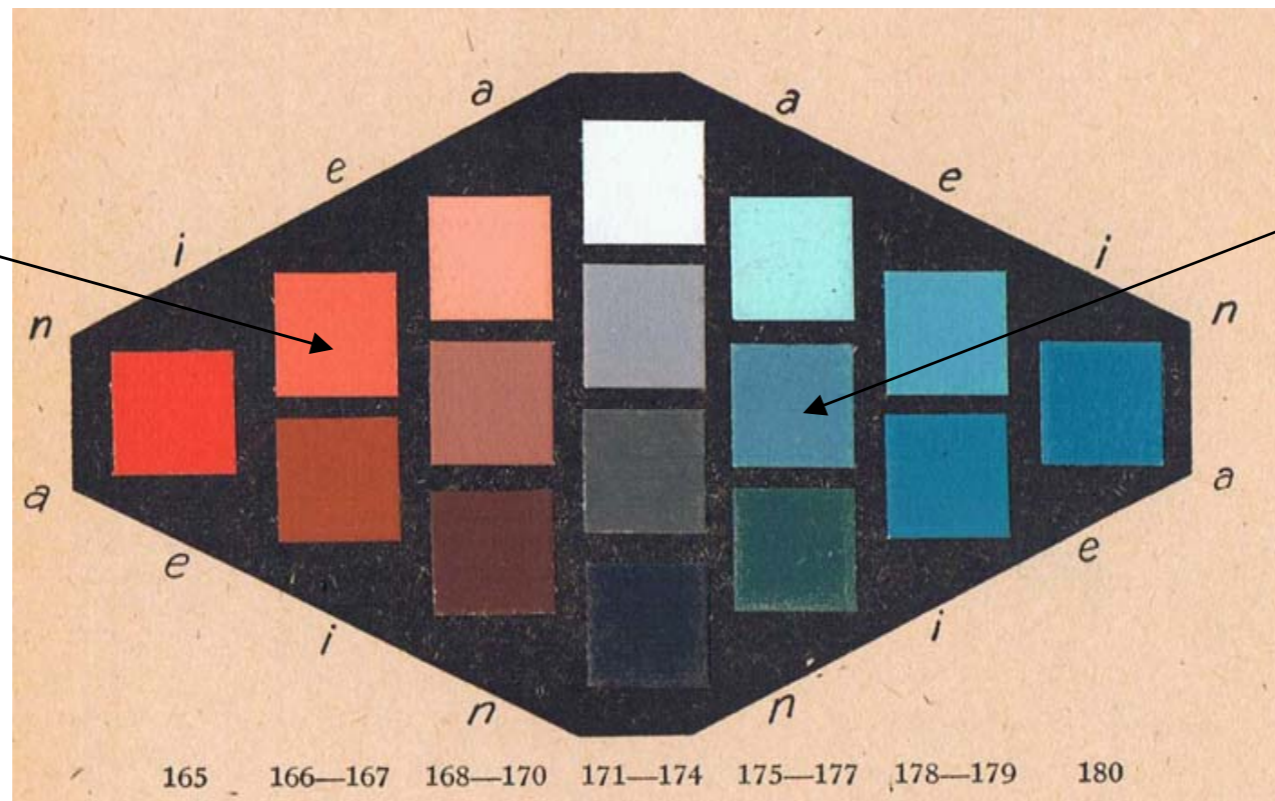


Vizuálně rovnoměrné odstupňování není symetrické

Ostwaldův systém

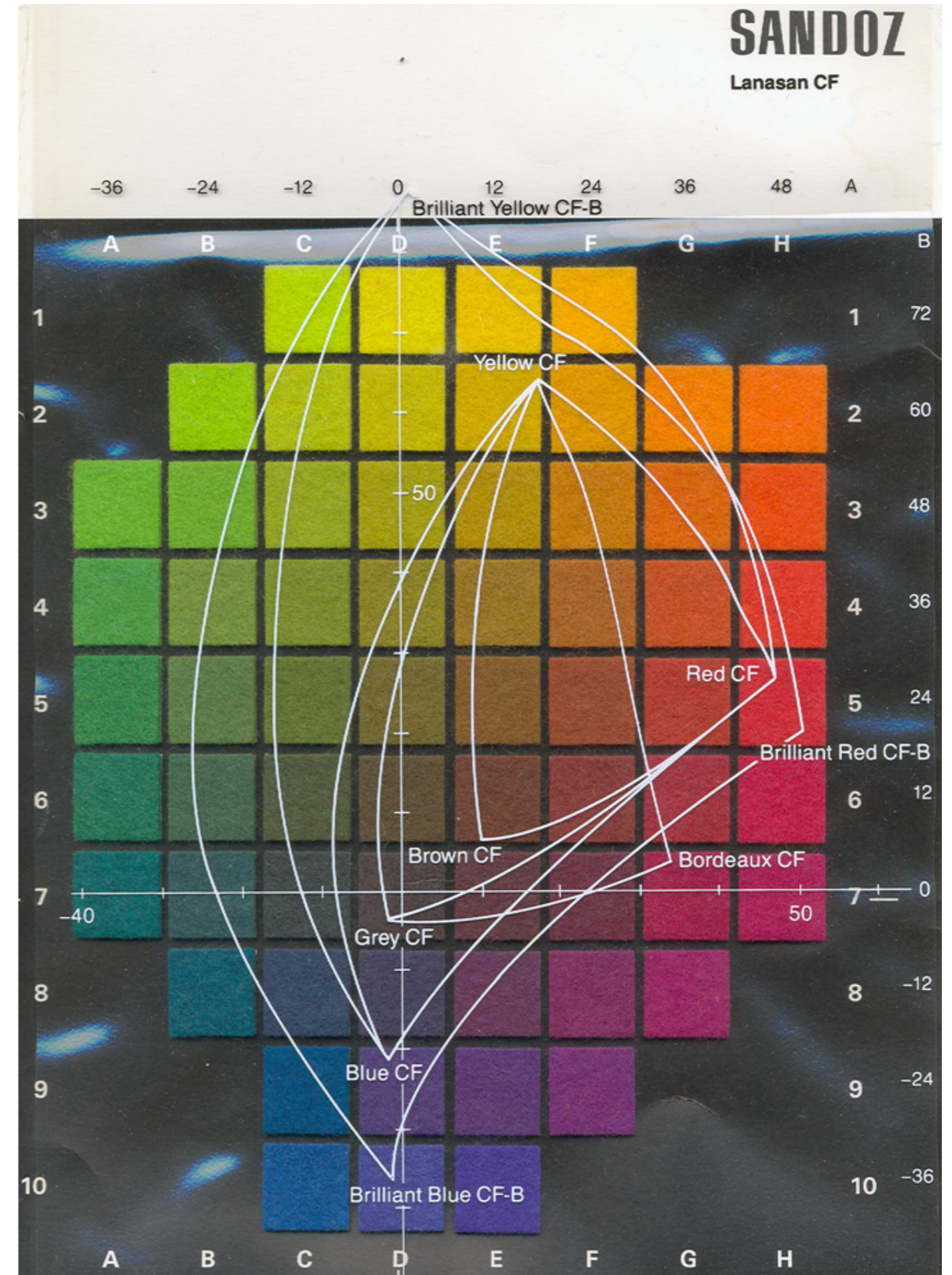
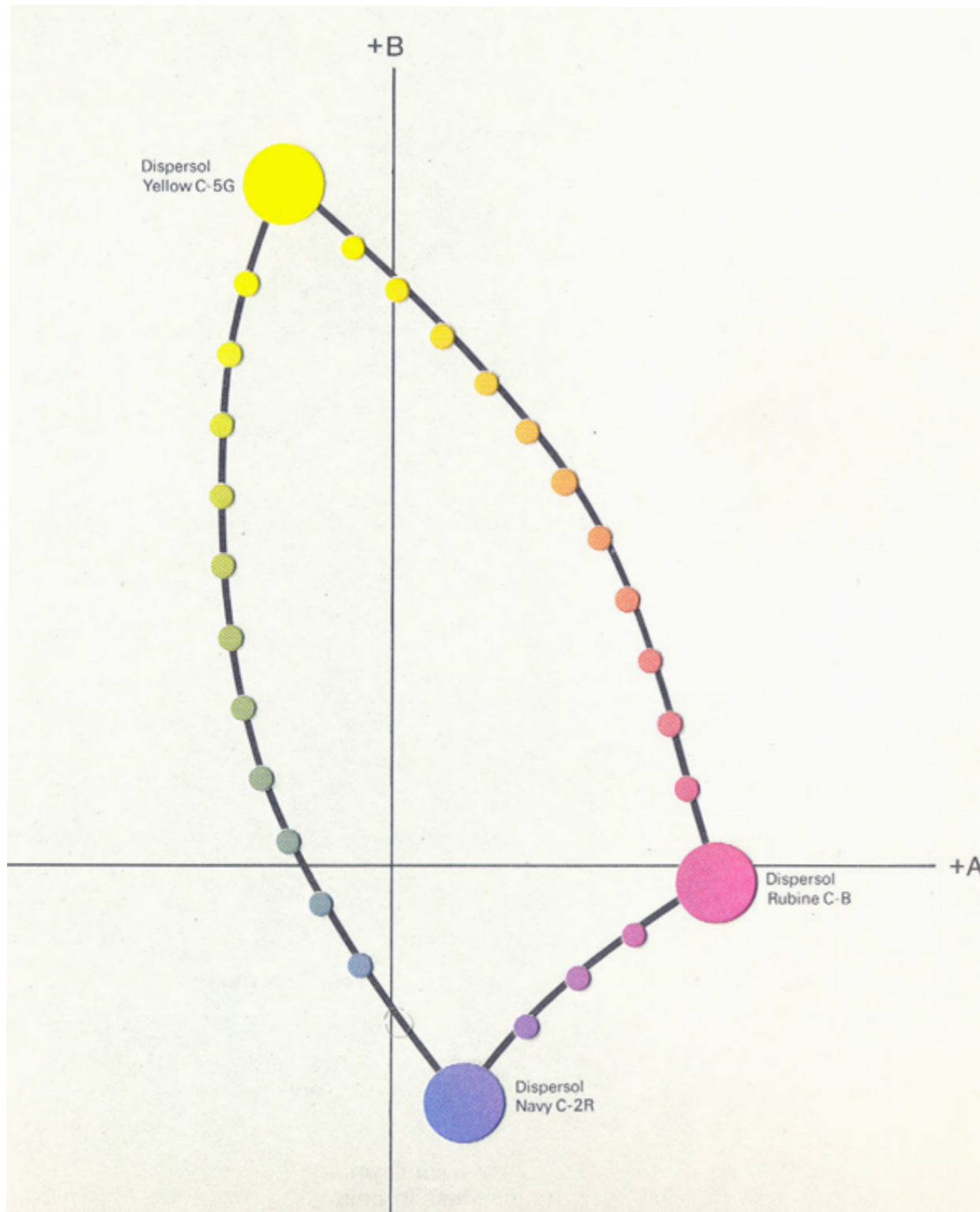
| | a | c | e | g | i | l | n | p |
|--------------|----|----|----|----|----|------|------|------|
| w in Prozent | 89 | 56 | 35 | 22 | 14 | 8,9 | 5,6 | 3,5 |
| s in Prozent | 11 | 44 | 65 | 78 | 86 | 91,1 | 94,4 | 96,5 |

Farbprobe: **5 i a**
 mittleres Rot
 14% Weiß,
 11% Schwarz,
 75% Vollfarbe

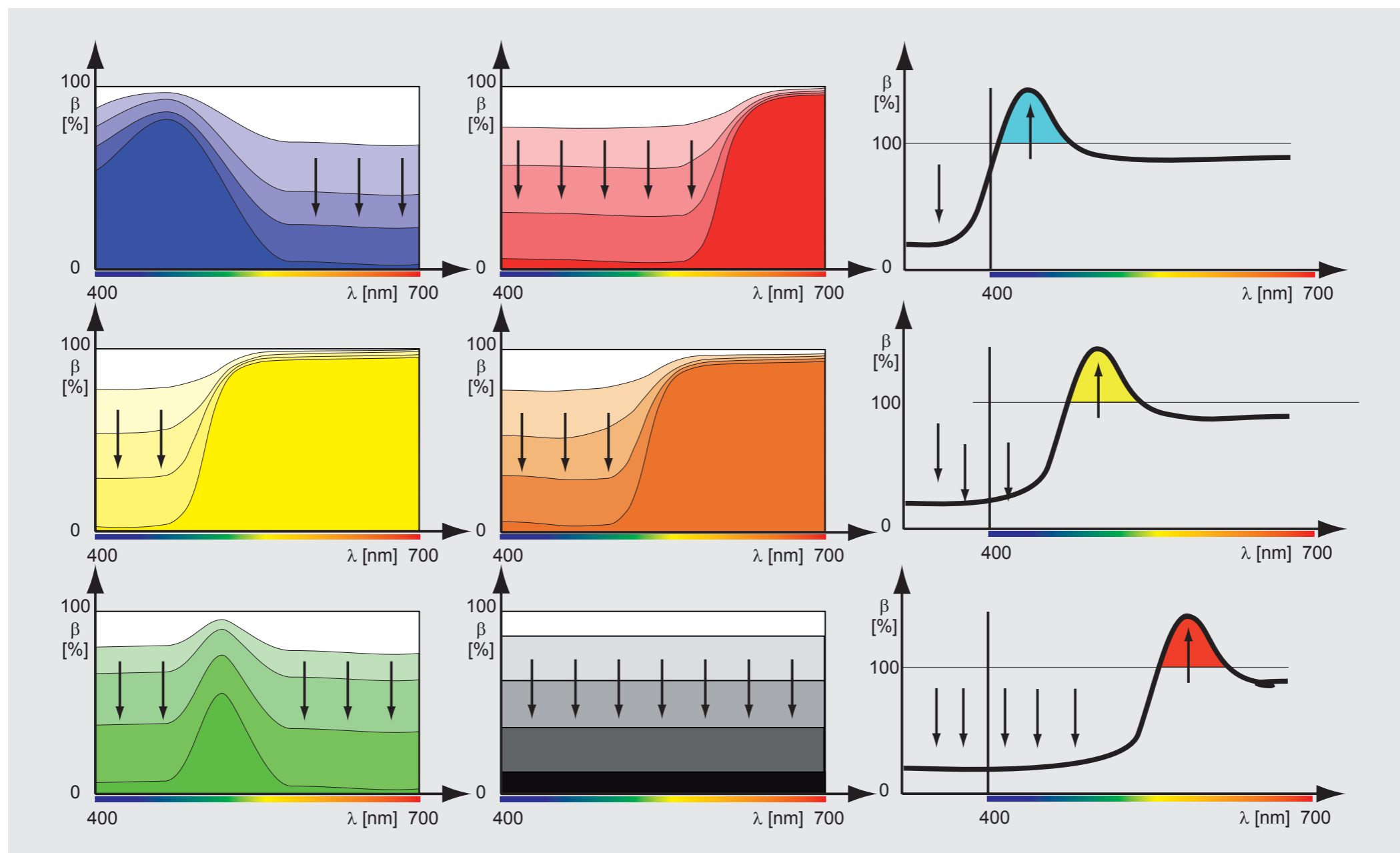


Farbprobe: **17 i e**
 mittleres Eisblau
 14% Weiß,
 65% Schwarz,
 21% Vollfarbe

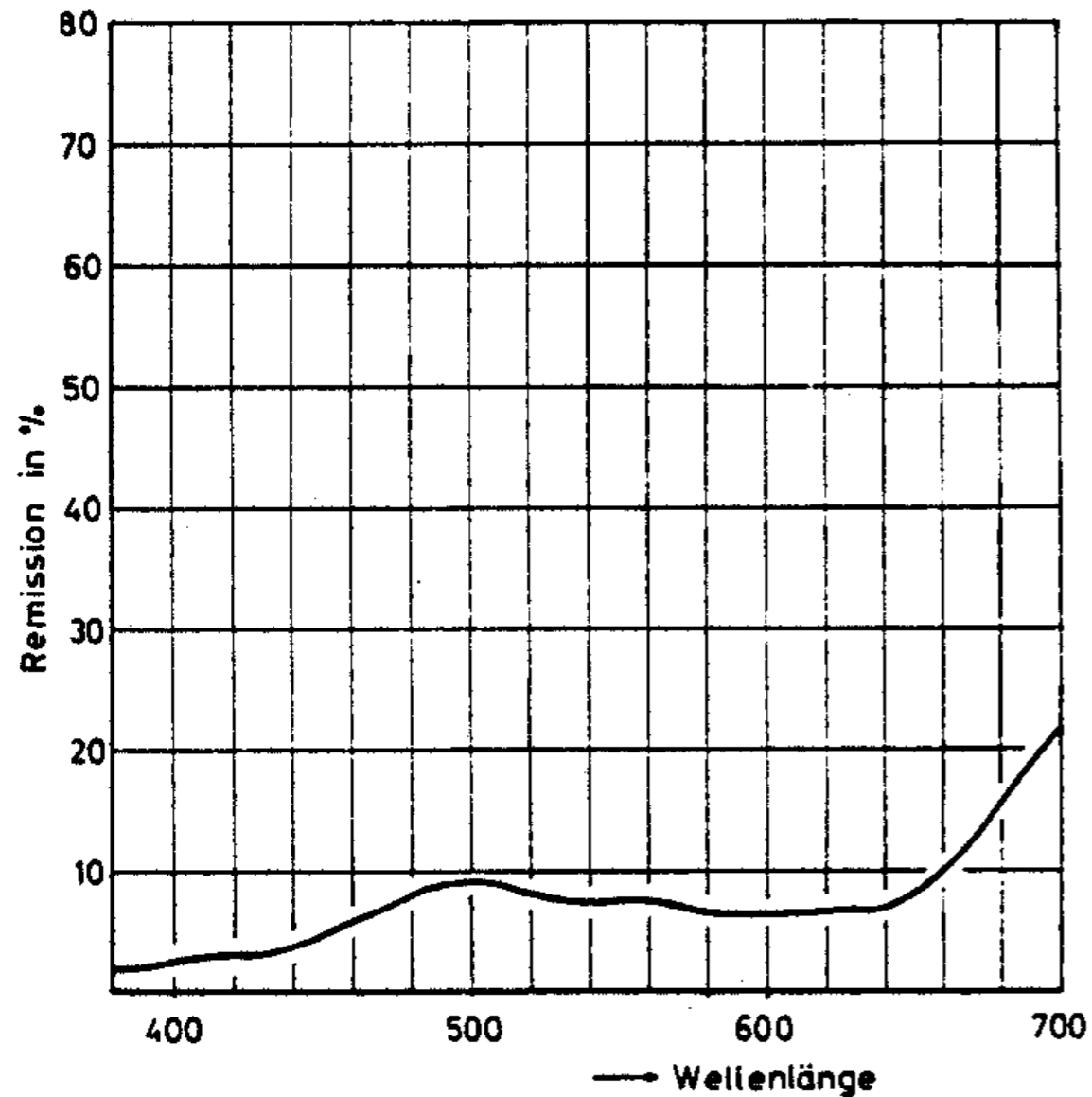
Vzorovací gamut



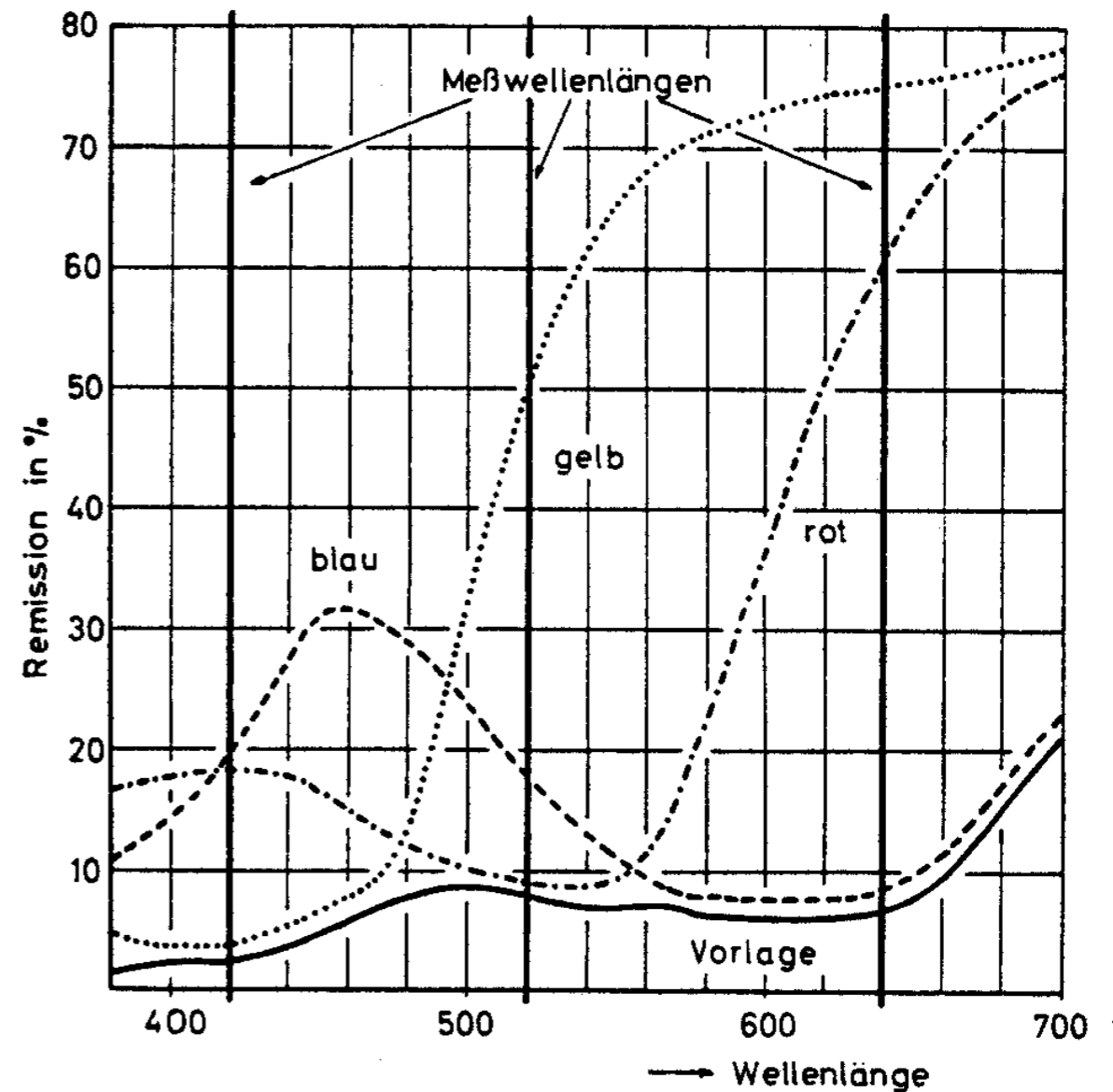
Receptování pomocí měřicího systému - remisních dat



Prostý odečet z remisních křivek

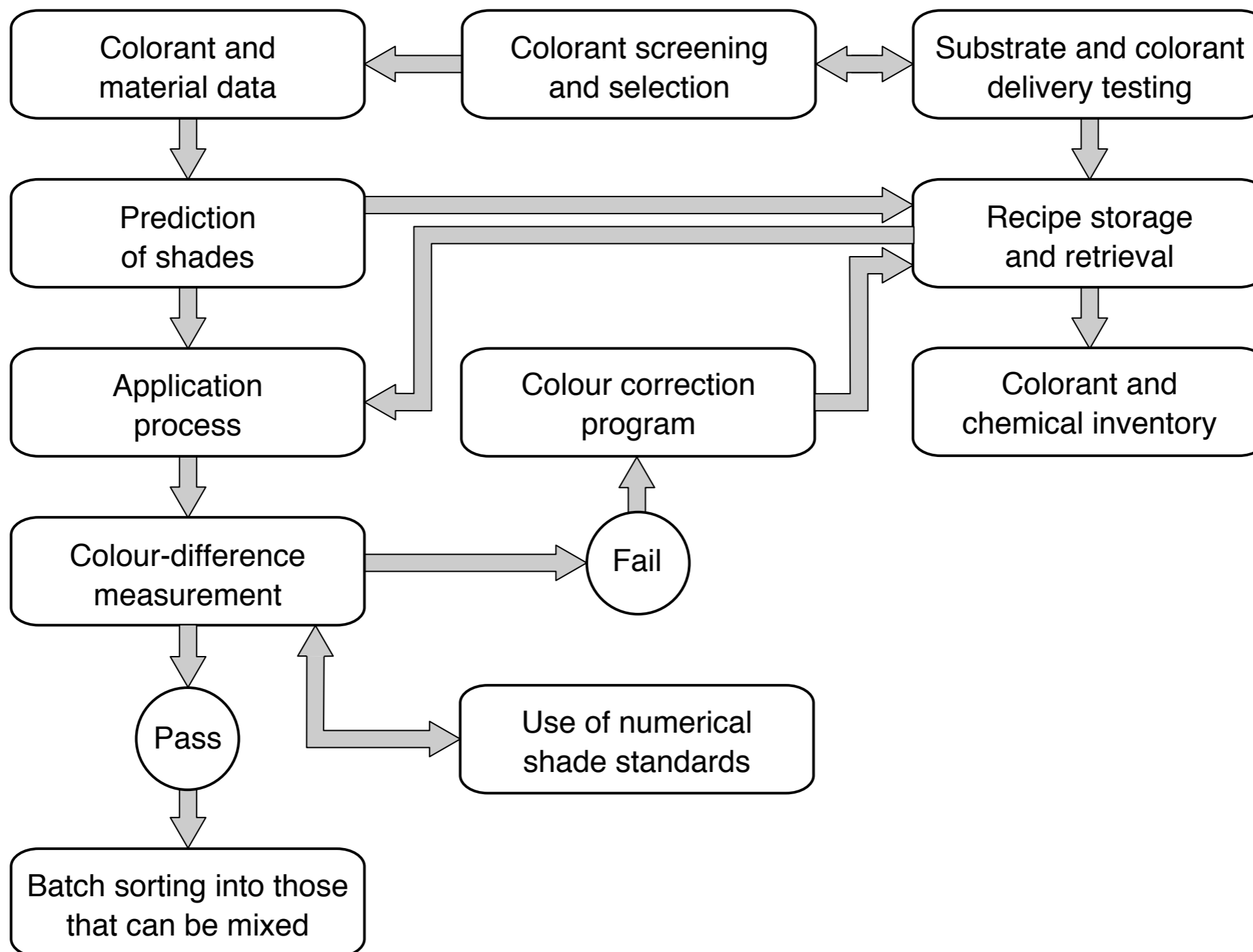


Remisní křivka předlohy



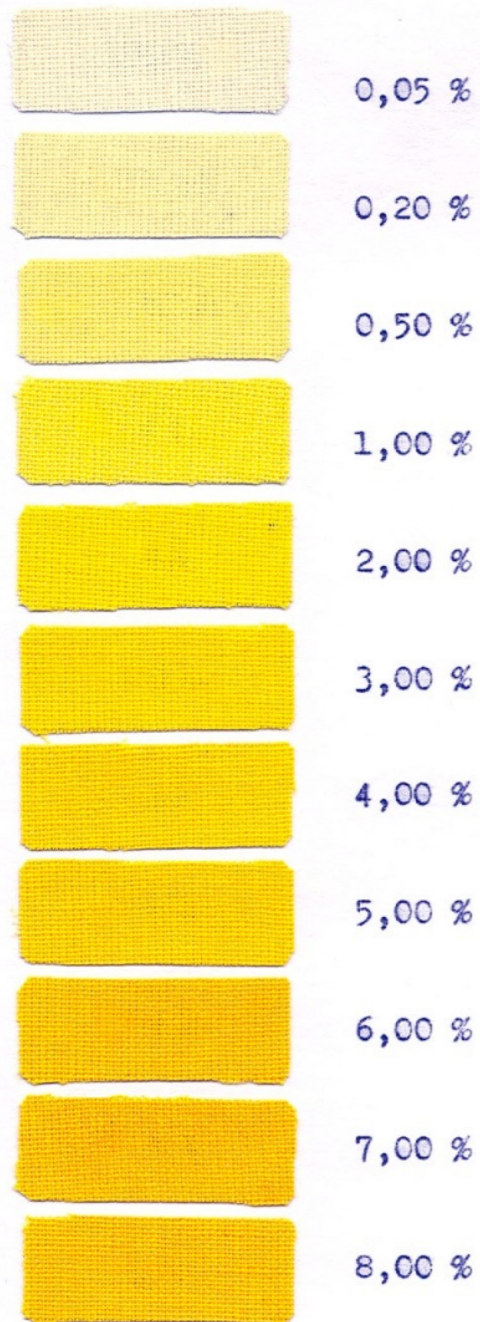
Odhady koncentrací jednotlivých barviv z fólií koncentračních řad

Receptování pomocí výpočetního systému

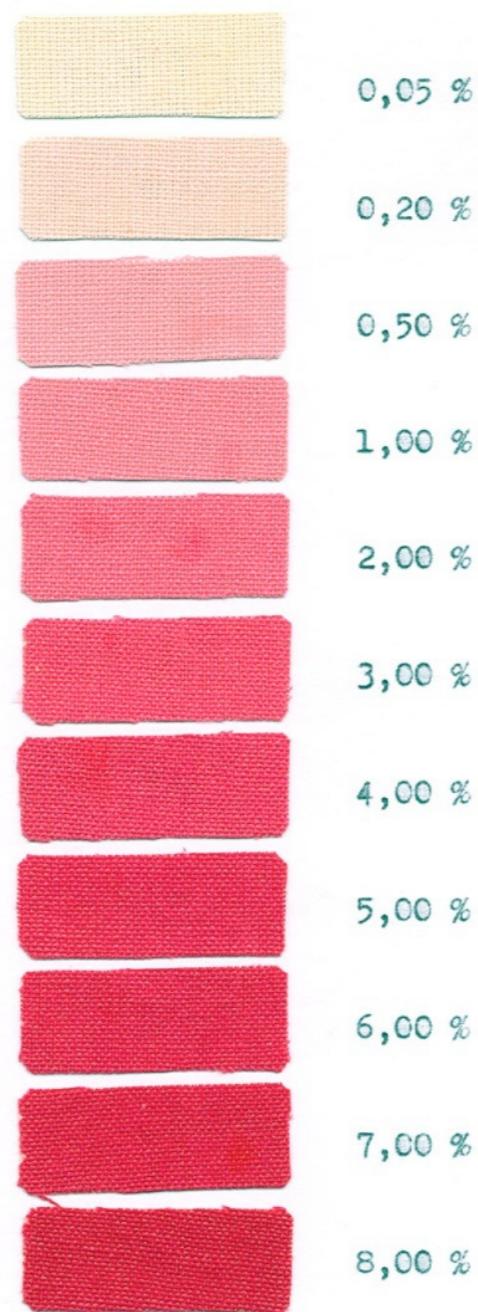


Koncentrační řady

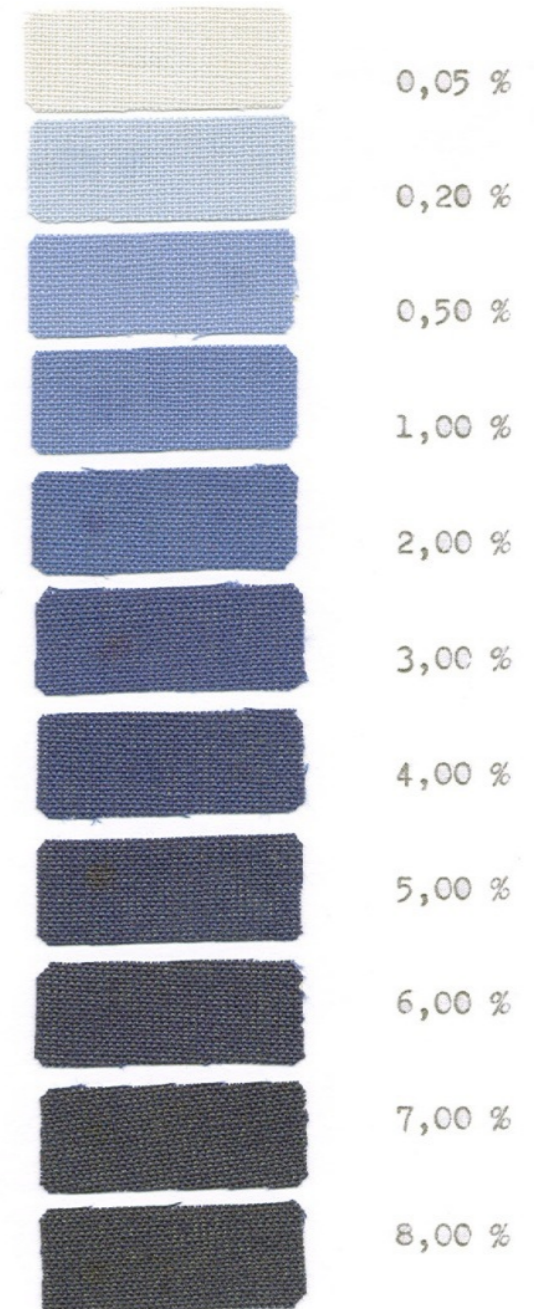
KONCENTRAČNÍ ŘADA - DISP. ŽLUTÁ



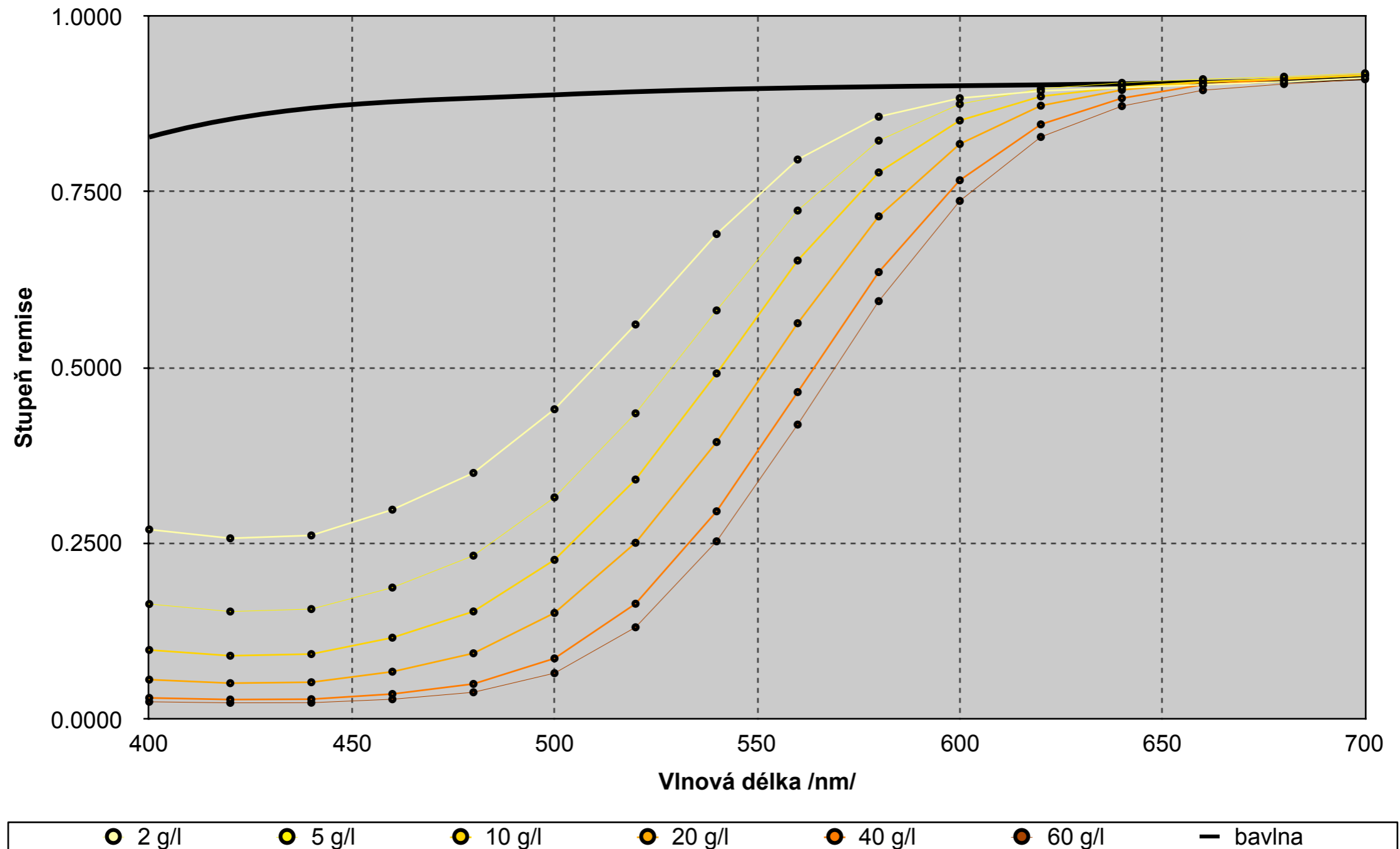
KONCENTRAČNÍ ŘADA - DISP. ČERVENÁ



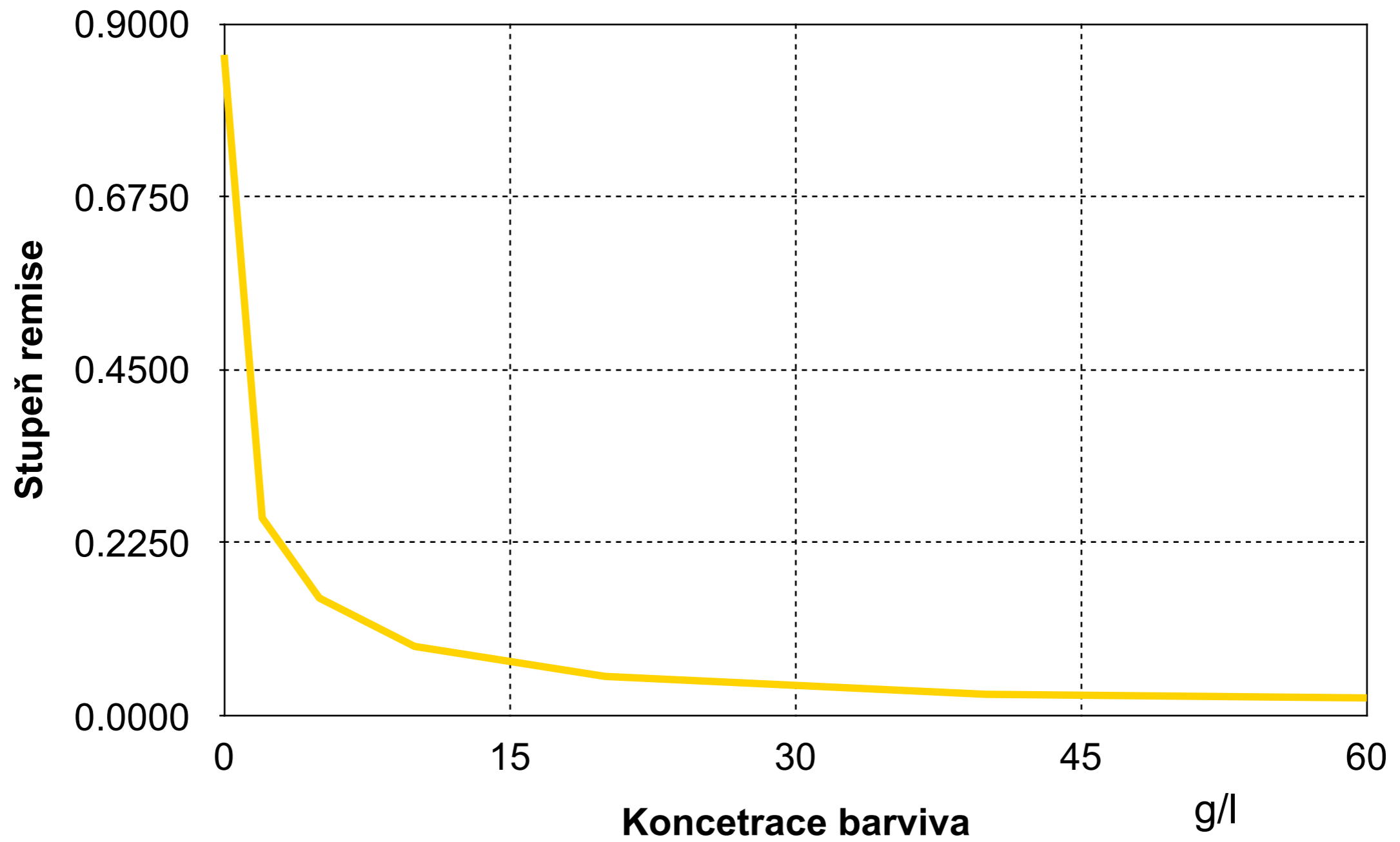
KONCENTRAČNÍ ŘADA - DISP. MODRÁ



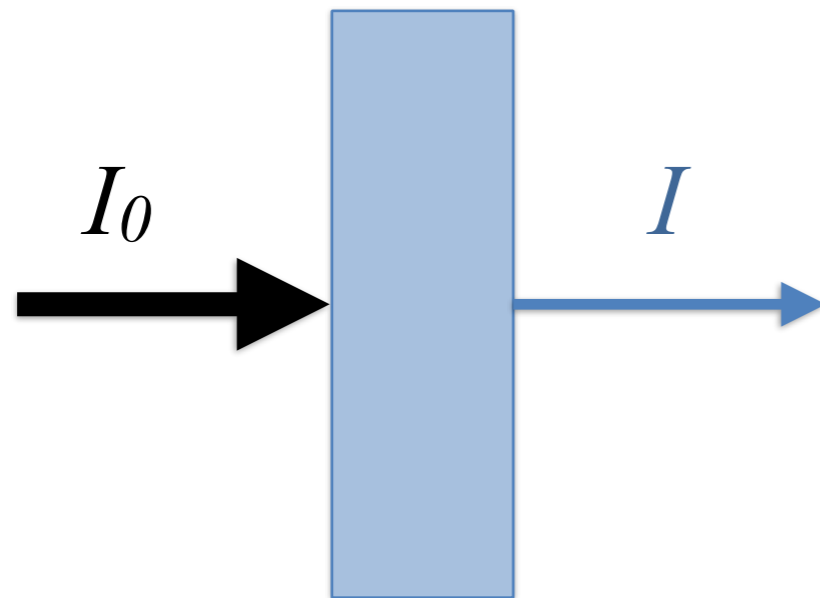
Závislost remise na vlnové délce a koncentraci



Závislost remise na koncentraci



Transmittance



$$T = I / I_0$$

kde T je transmittance neboli propustnost a nabývá hodnot od 0 - 1 (0 – 100%).

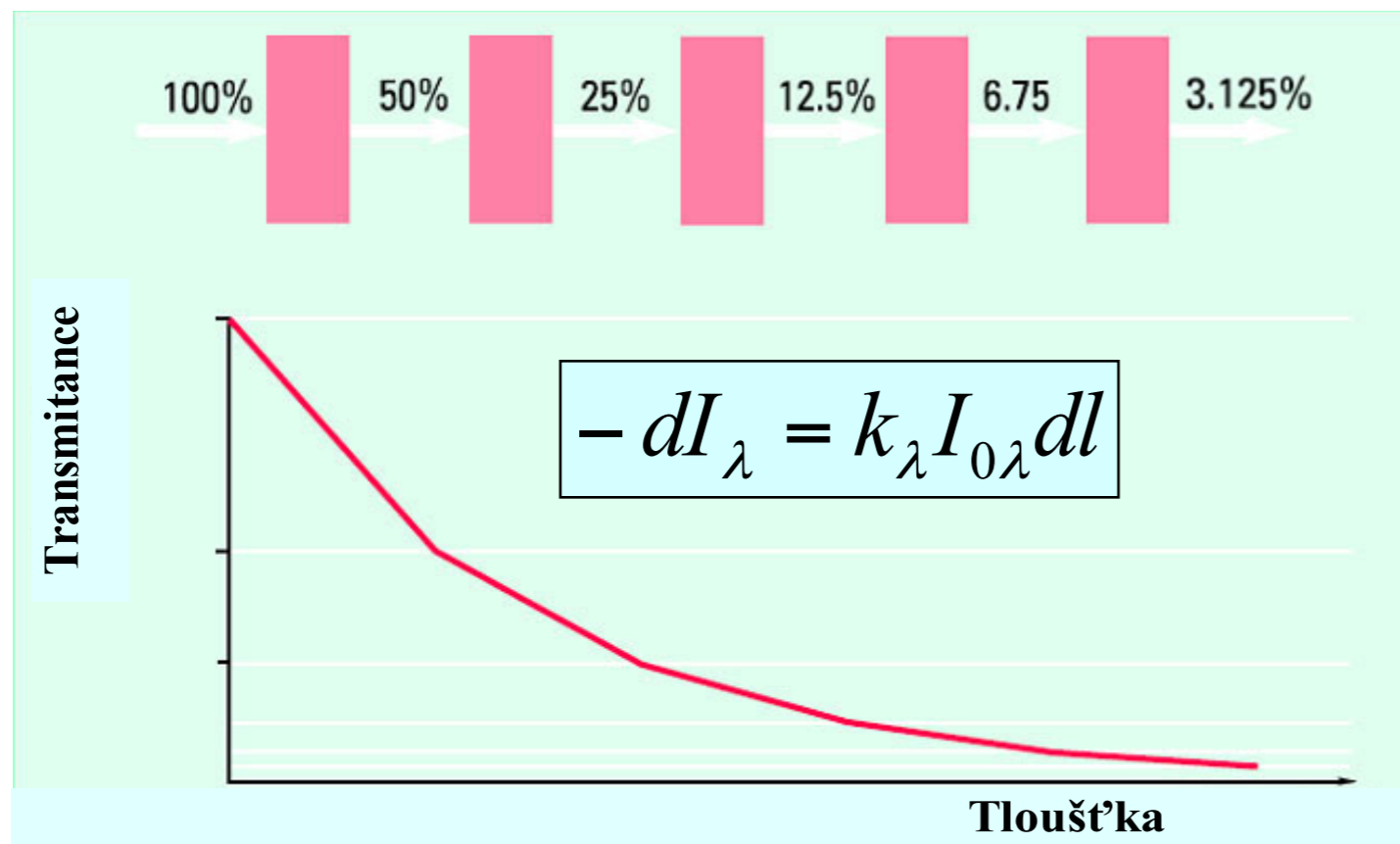
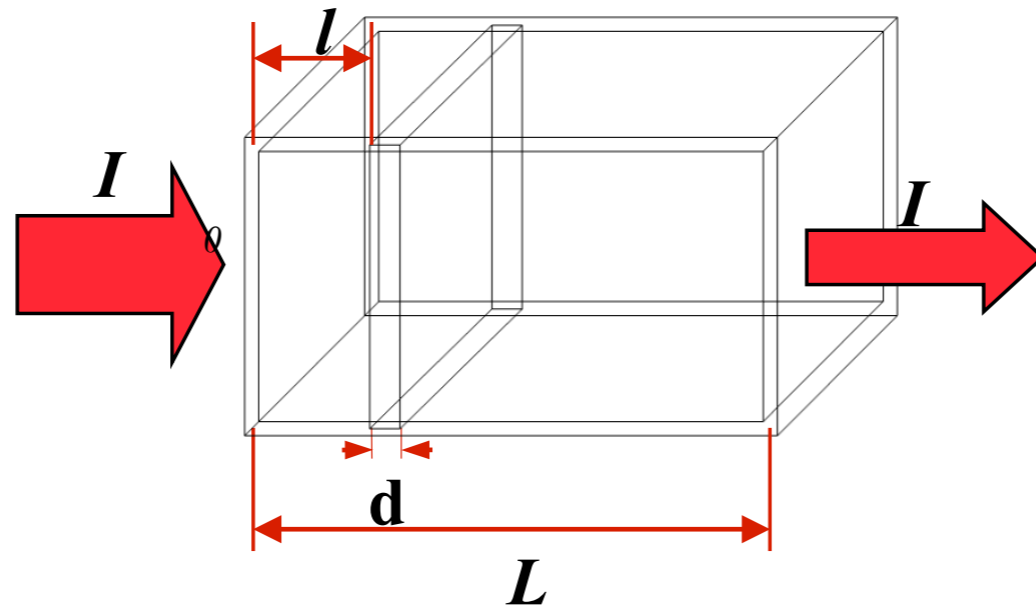
I je intenzita propouštěná vzorkem

I_0 je intenzita světla dopadajícího na vzorek

pokud $T = 0 \rightarrow$ prostředí nepropouští světlo vůbec

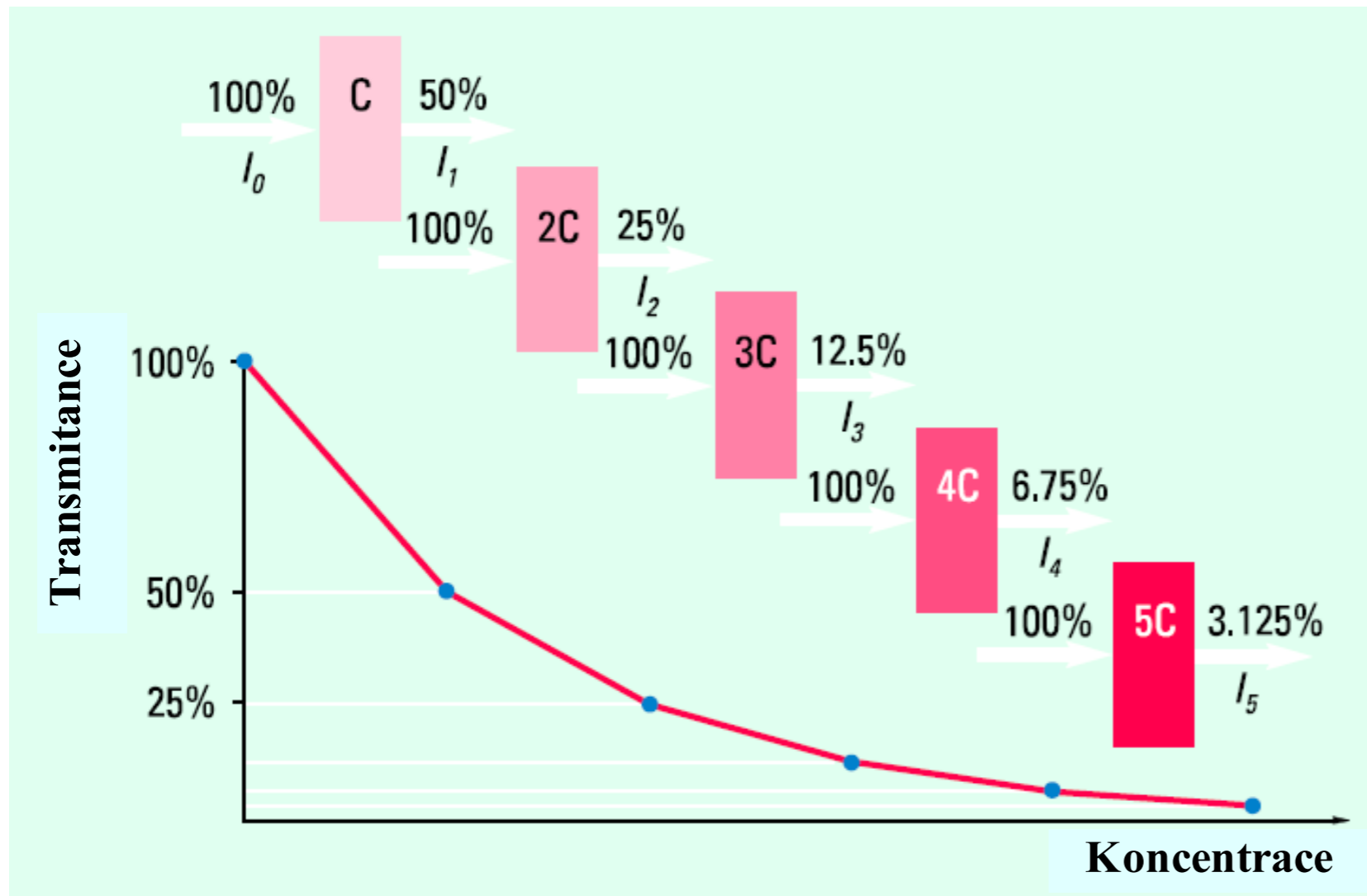
pokud $T = 1 \rightarrow$ prostředí propouští všechno světlo

Bouguer-Lambertův zákon



$$\frac{-dI_{\lambda}}{I_{0\lambda}} = k_{\lambda} dl$$

Beerův zákon



$$\frac{-dI_{\lambda}}{I_{0\lambda}} = k'_{\lambda} dc$$

Lambert-Beerův zákon

$$A = -\log T$$

$$A = -\log 10^{-\varepsilon_0 c l}$$

$$A = \varepsilon_0 c l$$

A = absorbance

ε_0 = molární absorpční koeficient pro danou vlnovou délku

c = koncentrace roztoku

l = délka optické dráhy (tj. tloušťka vrstvy roztoku)

Stanovení obsahu látky ve vzorku s použitím kalibračního grafu

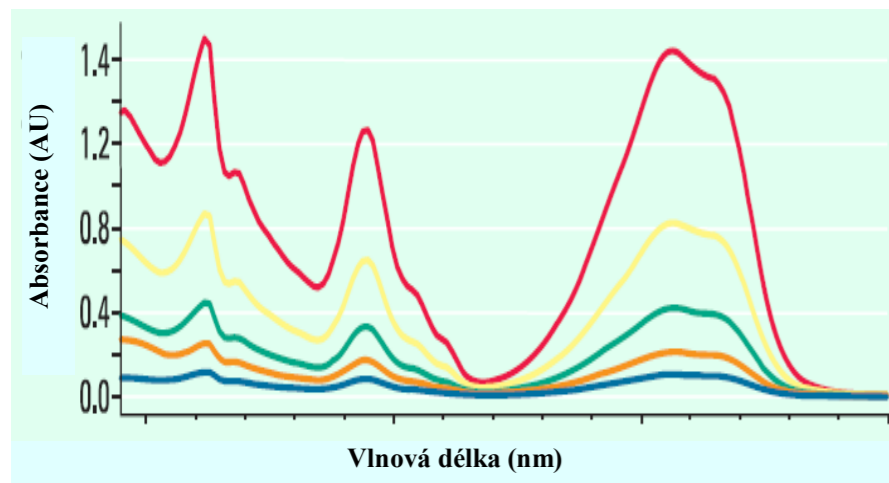
Grafickým znázorněním Lambert-Beerova zákona je přímka, která prochází počátkem.

Hodnota koncentrace **c** se vynáší jako nezávisle proměnná na **osu x** a **absorbance A** jako závisle proměnná na **osu y**. Absorpční koeficient ϵ je směrnicí přímky.

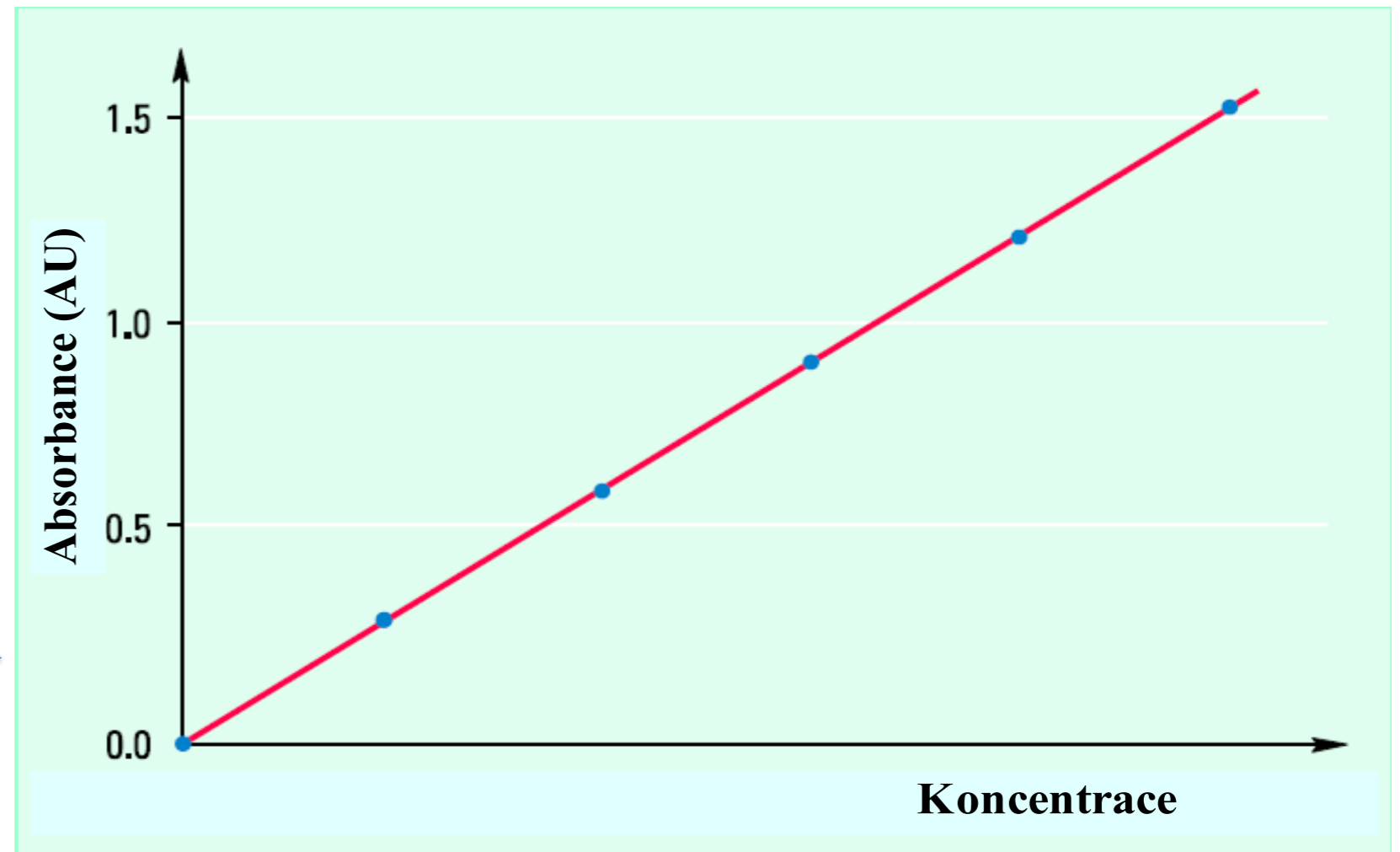
Sestrojení kalibračního grafu

- připravit obvykle 5 – 7 standardních roztoků, které mají přesně známou koncentraci + roztok vzorku o neznámé koncentraci + slepý vzorek.
- změřit absorbance těchto roztoků při vhodné λ .
- sestrojít kalibrační křivku z naměřených hodnot.
- odečíst z této křivky koncentraci látky ve vzorku

Stanovení obsahu látky ve vzorku s použitím kalibračního grafu



Stanovení provádíme v absorpčním maximu

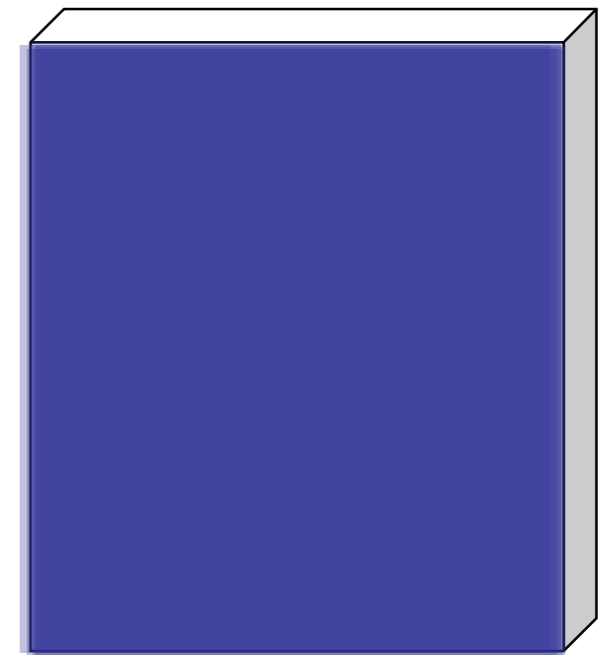
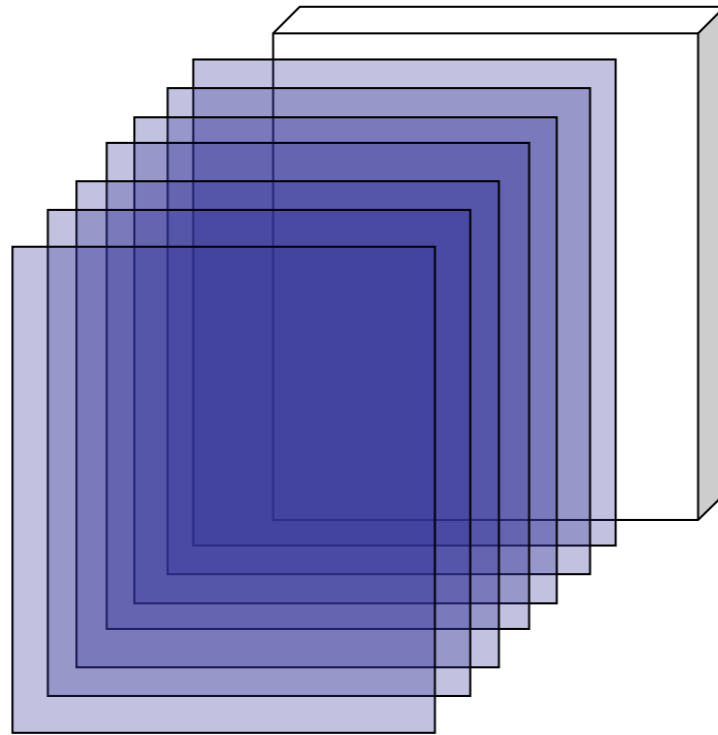


Slepý vzorek je složen ze všech použitých rozpouštědel a činidel použitých při zpracování vzorku - **chybí jen stanovovaná látka.**

Co dělat v případě průsvitných materiálů?

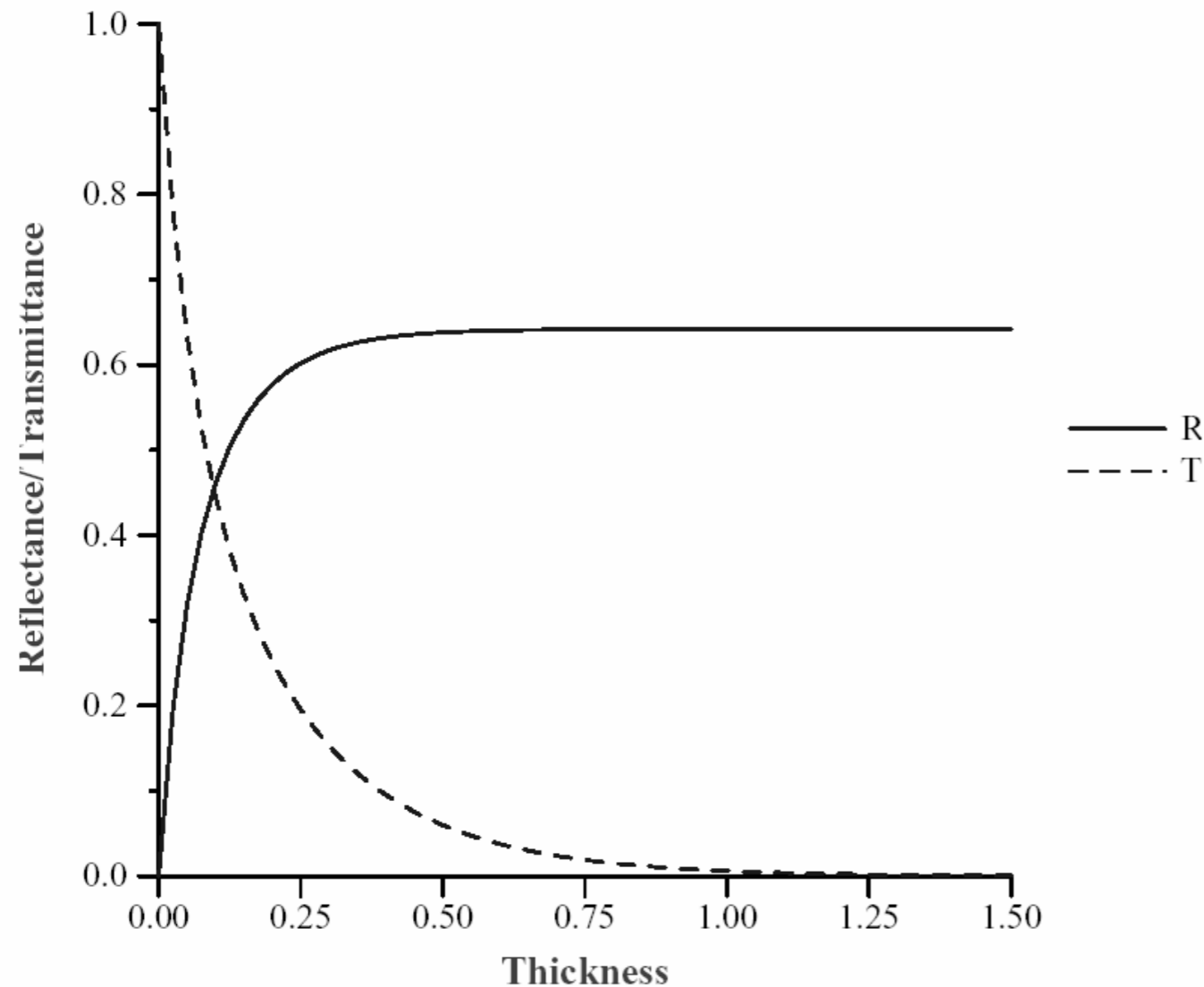


Nanášení jednotlivých vrstev



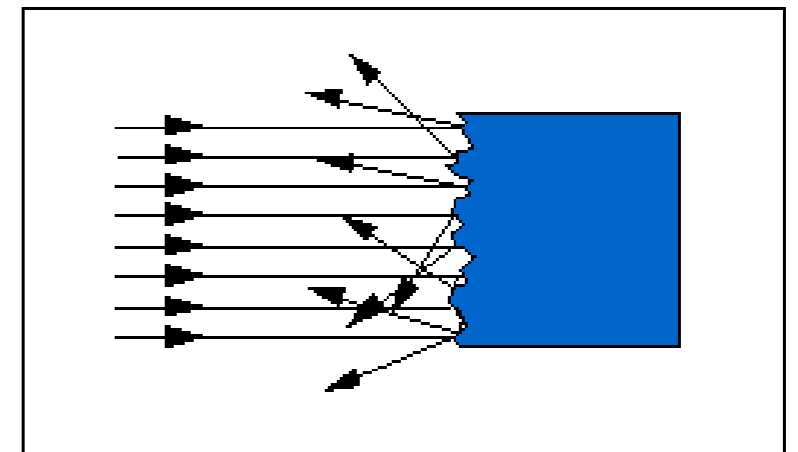
7 vrstev

Vliv tloušťky na optické parametry

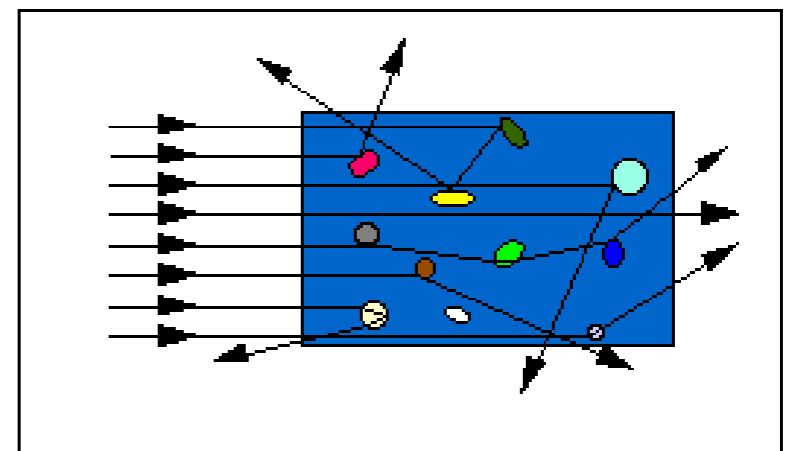


Nárůst tloušťky - nárůst odrazivosti

Základní dva typy rozptylu

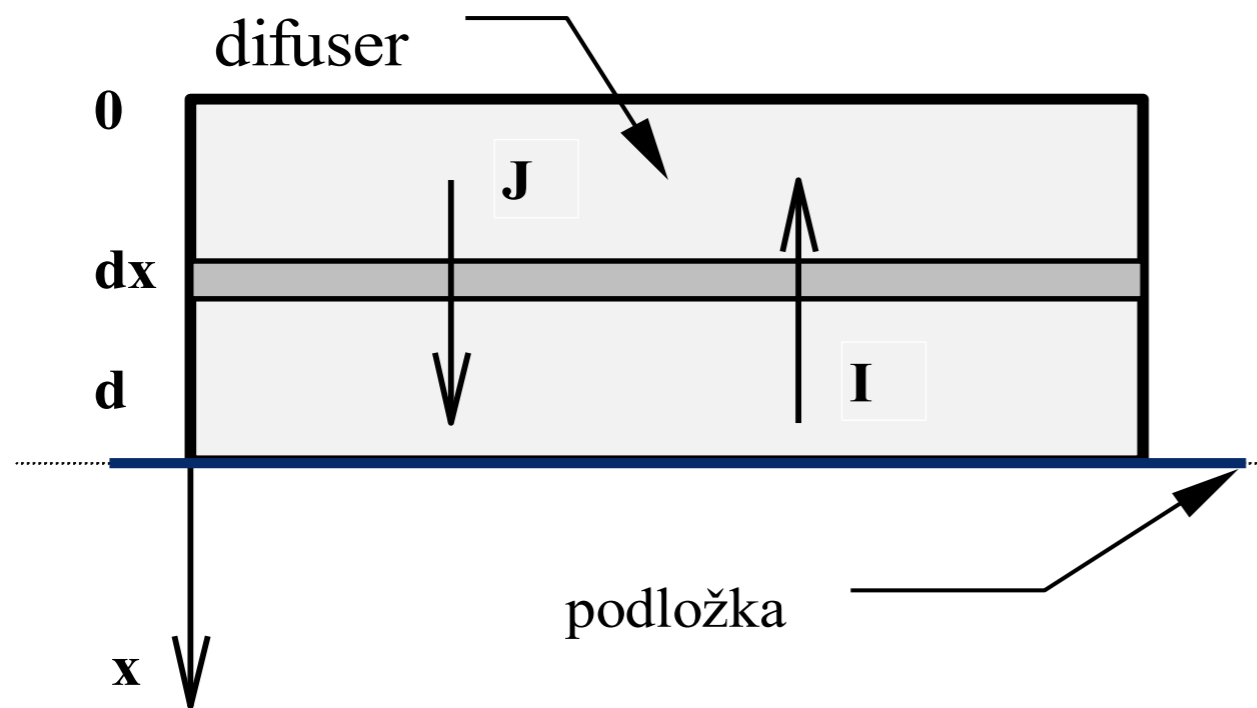


Rozptyl na povrchu - vliv nerovnosti



Rozptyl pod povrchem - vliv velikosti částic

Schusterův - Kubelka-Munkův model



$$-dI = -2kIdx - 2sIdx + 2sJdx$$

$$+dJ = -2kJdx - 2sJdx + 2sIdx$$

po substituci $K = 2k$, $S = 2s$, $a = 1 + K/S$
 kde k a s jsou definovány vztahy
 $k = 2a / (a + s)$, $s = s / (a + s)$,

$$\left. \begin{aligned} -\frac{dI}{Sdx} &= -aI + J \\ +\frac{dJ}{Sdx} &= -aJ + I \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{dr}{r^2 - 2ar + 1} = Sdx$$

Kubelka-Munkova funkce

Pro limitní případ tzv. polomasivu : $d = \infty$ je $bg = 0$ a $b = \beta_\infty$.

Platí :

$$\beta_\infty = a - \sqrt{a^2 - 1} = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\frac{K^2}{S^2} + 2\frac{K}{S}}$$

resp. :

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - \beta_\infty)^2}{2\beta_\infty} = f(\beta_\infty)$$

Jedno a dvoukonstantová K-M funkce

$$\frac{K}{S} = \frac{c_1 K_1 + c_2 K_2 + c_3 K_3 \dots c_j K_j + K_s}{c_1 S_1 + c_2 S_2 + c_3 S_3 \dots c_j S_j + S_s}$$

Model se dvěma konstantami – nátěry, plasty a inkousty

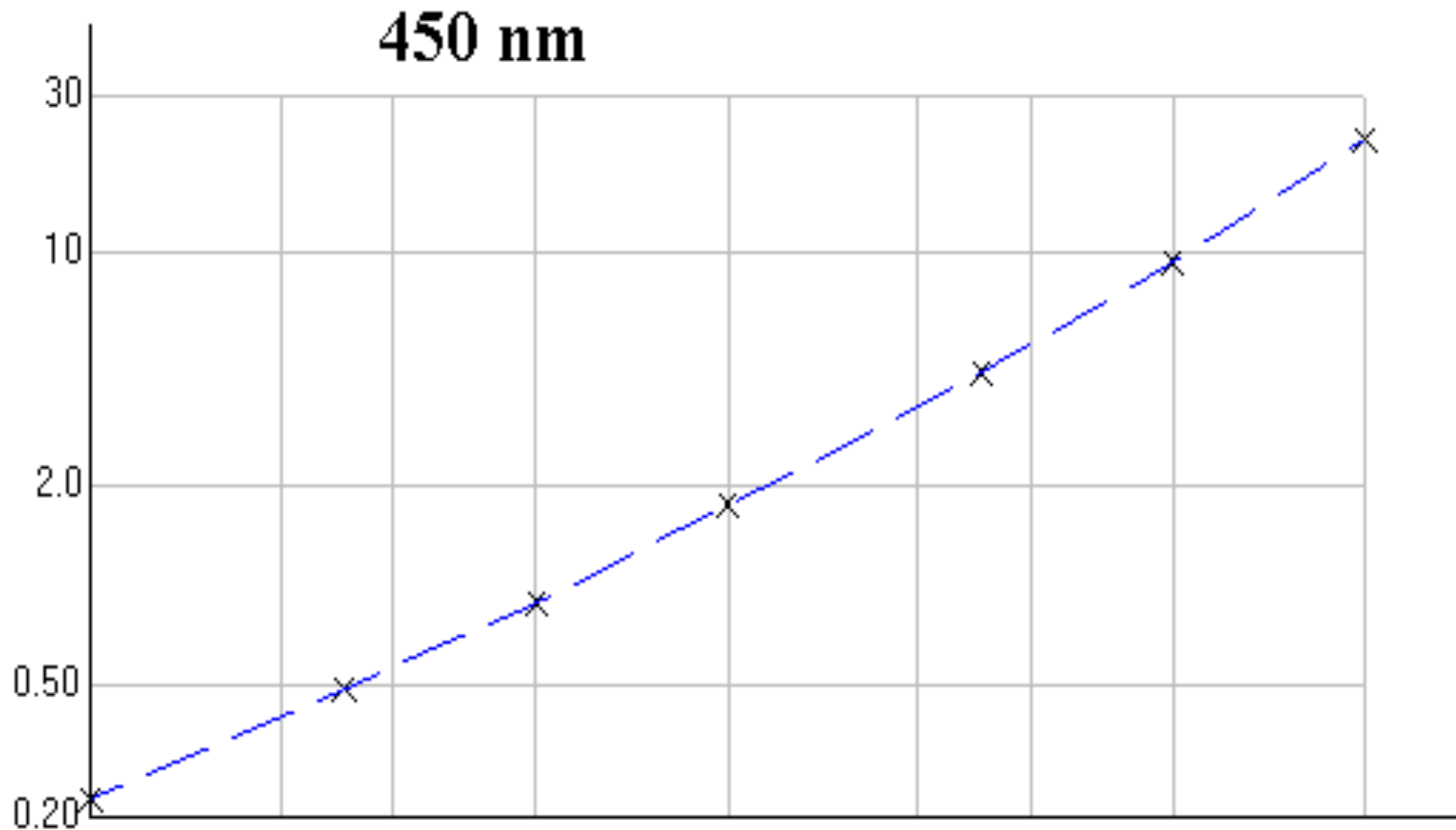
$$\frac{K}{S} = \frac{c_1 K_1 + c_2 K_2 + c_3 K_3 \dots c_j K_j + K_s}{S_s}$$

Model s jednou konstantou – textilie

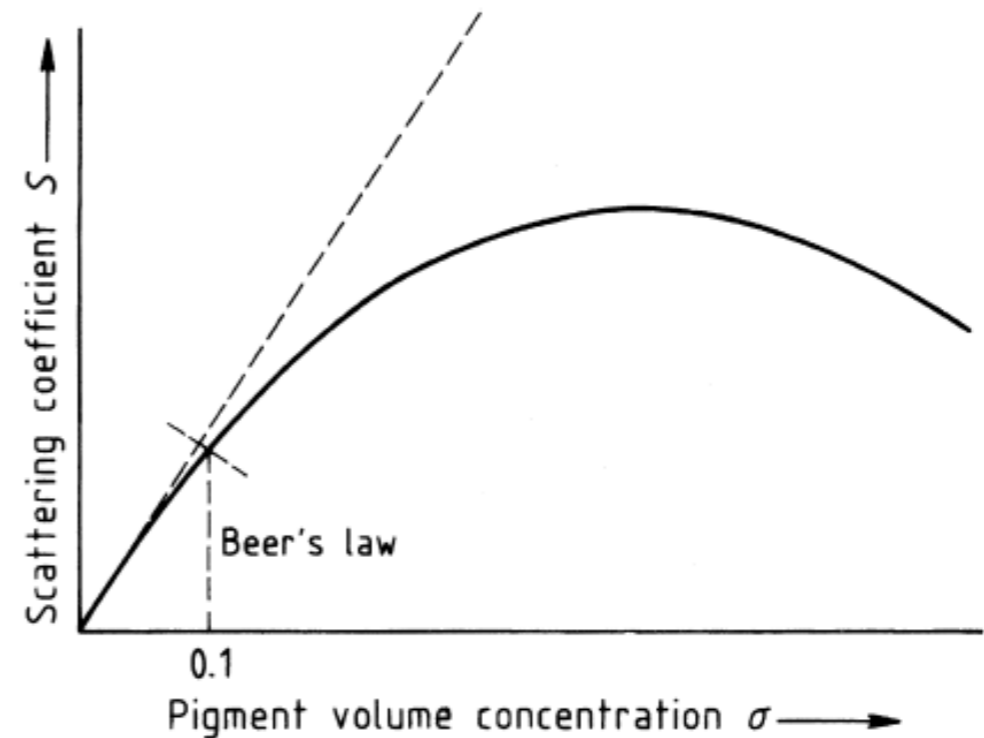
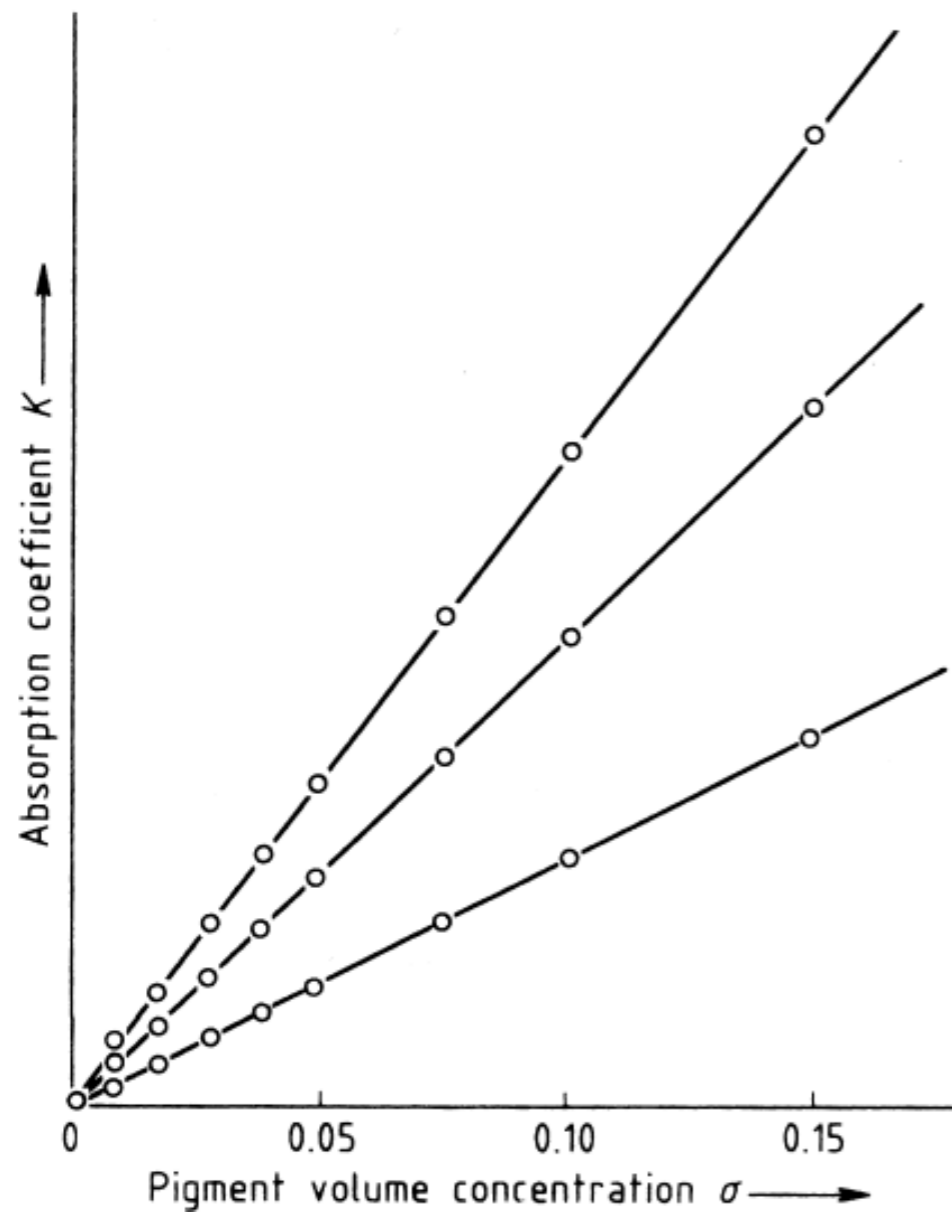
resp. ve smyslu

$$\frac{K}{S} = A_j c_j + \left(\frac{K}{S}\right)_s \longrightarrow \frac{K}{S} - \left(\frac{K}{S}\right)_s = c_1 K_1 + c_2 K_2 + c_3 K_3 \dots c_j K_j$$

Závislost K/S na koncentraci - jednokvantová fce



Závislost K/S na koncentraci - dvoukonstantová fce



Průběh zdánlivých koeficientů absorpce K a rozptylu S u pigmentů na bázi oxidů železa

Odhady receptur

Modrá

+

Žlutá

=

Zelená



+



=



Odhady receptur

Modrá

+

Žlutá

=

Zelená



+



=



1% Modrého
barviva

1% Žlutého
barviva

Zelený odstín,
který obsahuje
1% Modrého
a 1% Žlutého
barviva

Odhady receptur

Modrá

+

Žlutá

=

Zelená



+



=



%R₄₅₀ 40.0

3.0

2.8

K/S₄₅₀ 0.45

+

15.7

=

16.15

Odhady receptor

Modrá

+

Žlutá

=

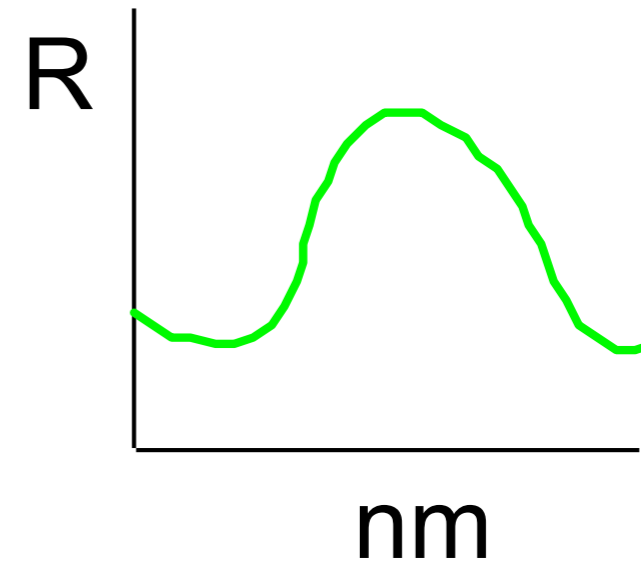
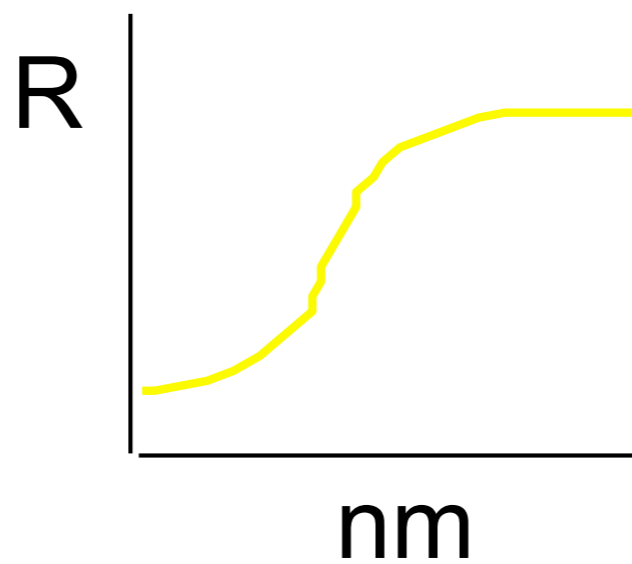
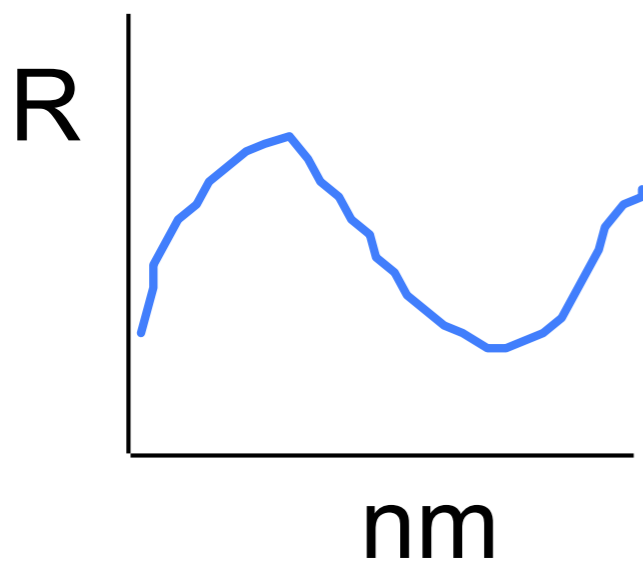
Zelená



+



=



Odhady receptor

Modrá

+

Žlutá

=

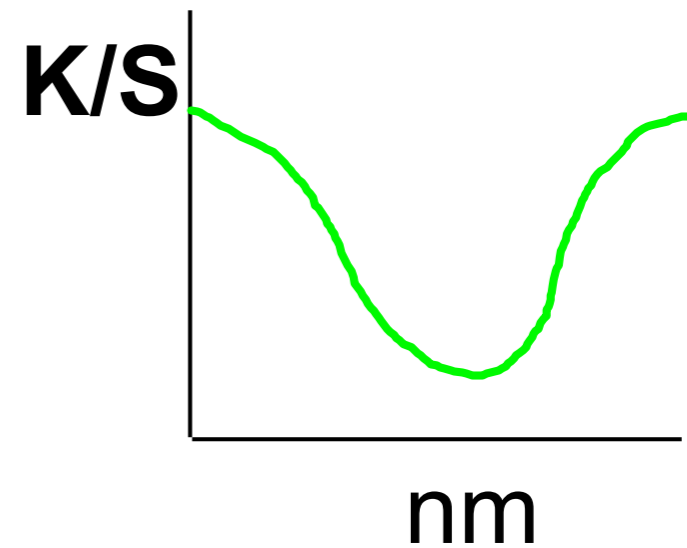
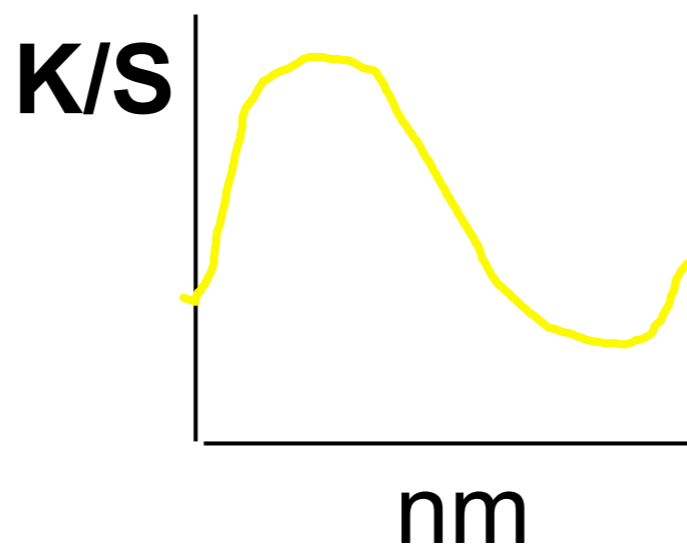
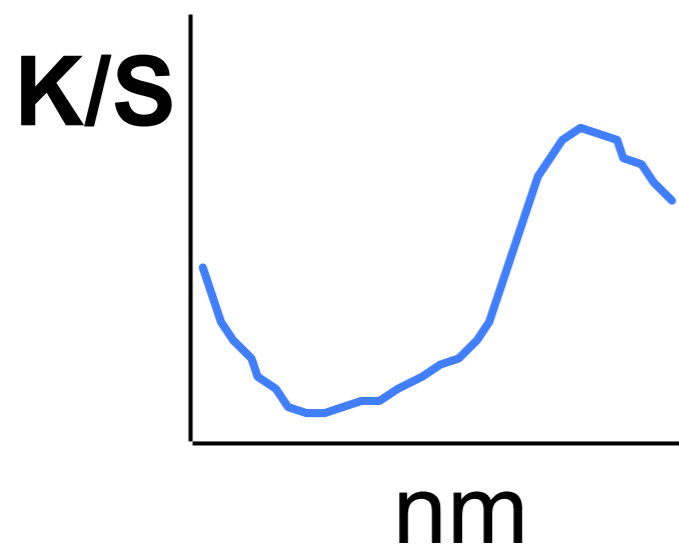
Zelená



+



=



Příprava databáze

| | | |
|-----|-------|------------|
| 2% | black | +98% white |
| 5% | black | +95% white |
| 10% | black | +90% white |
| 20% | black | +80% white |
| 30% | black | +70% white |
| 40% | black | +60% white |
| 50% | black | +50% white |
| 70% | black | +30% white |
| 80% | black | +20% white |

Kalibrační stupnice pro stanovení rozptylových koeficientů

| | | |
|-----|----------|------------|
| 2% | colorant | +98% white |
| 5% | colorant | +95% white |
| 10% | colorant | +90% white |
| 20% | colorant | +80% white |
| 30% | colorant | +70% white |
| 40% | colorant | +60% white |
| 50% | colorant | +50% white |
| 70% | colorant | +30% white |
| 80% | colorant | +20% white |
| 97% | colorant | + 3% black |

Kalibrační stupnice pro anorganické i organické pigmenty

Příprava kontrolních vzorků

| | | | |
|----------|-----------------------------|-------|---------------------------|
| KNOWN #1 | Inorganic or Organic Yellow | 20% | KNOWN #6 - reproduce K#1 |
| | Red Oxide | 10% | |
| | Black | 2% | |
| | White | 68% | |
| KNOWN #2 | Yellow Oxides | 4.0% | KNOWN #7 - reproduce K#2 |
| | Organic Blue | 0.1% | |
| | Black | 1% | |
| | White | 94.9% | |
| KNOWN #3 | Inorganic or Organic Yellow | 40% | KNOWN #8 - reproduce K#3 |
| | Organic Blue | 8% | |
| | Black | 2% | |
| | White | 50% | |
| KNOWN #4 | Yellow Oxide | 20% | KNOWN #9 - reproduce K#4 |
| | Red Oxide | 5% | |
| | Organic Green | 5% | |
| | White | 70% | |
| KNOWN #5 | Inorganic or Organic Yellow | 45% | KNOWN #10 - reproduce K#5 |
| | Red Oxide | 45% | |
| | Black | 3% | |
| | White | 7% | |

5 pravidel přípravy databáze

- » přesnost
- » volba přesnosti dávkování (objemové či váhové jednotky)
- » stanovení maximálního a minimálního přídavku
- » vyšetření chyb (stanovení minimální úrovně chyb)
- » rovnoměrné vizuální odstupňování

Chyby při receptování



DE = 0.5

Chyba databáze

**Nový
odstín**



**Odhad
receptury**

DE = 0.5

**Chyba laboratorní
přípravy**



**Laboratorní
recept**

Chyby v laboratorní přípravě zdvojnásobují celkovou chybu !!

DATABÁZE

» Kvalita výsledného odhadu receptury vypočteného pomocí příslušného receptovacího programu je primárně závislá na kvalitě databáze !

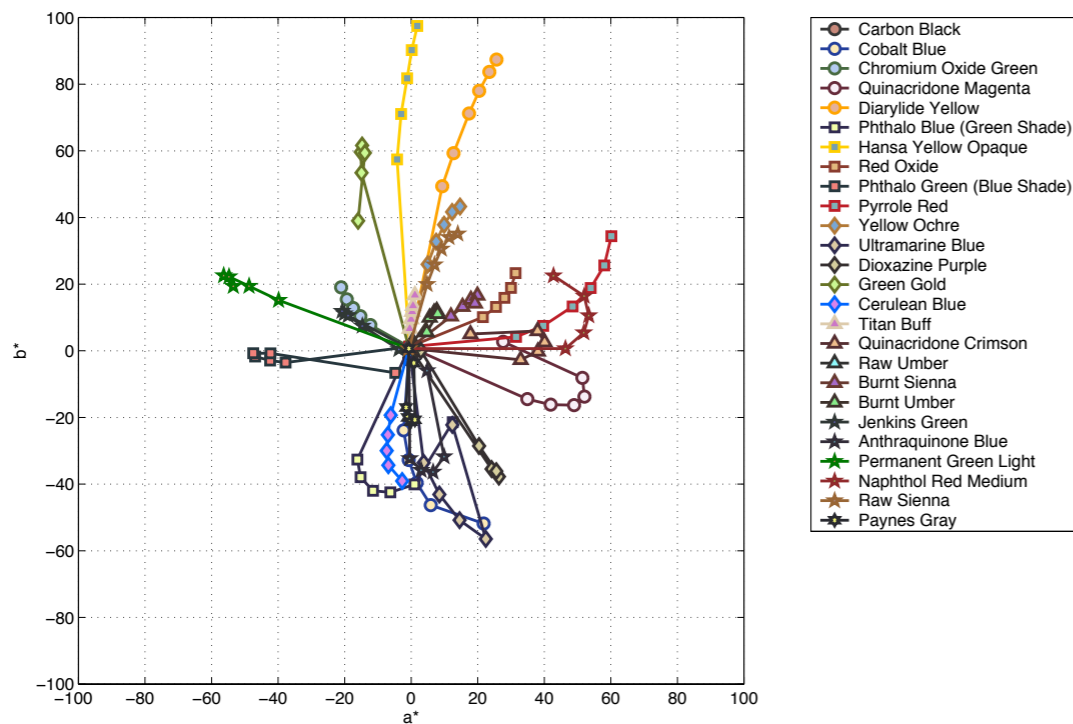
GIGGO

Příprava databáze

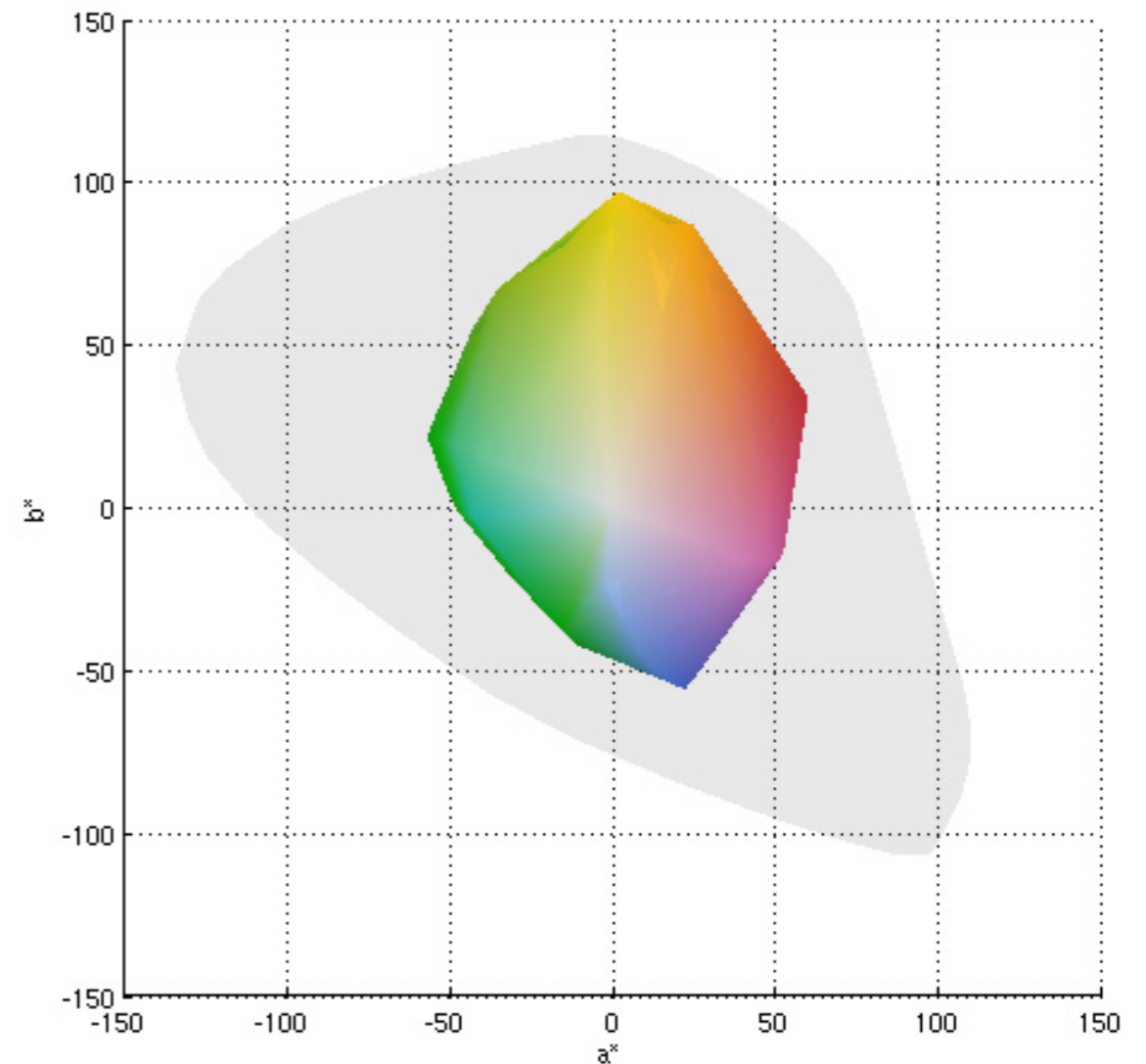
Vkládání základních informací:

- » Název databáze
- » Doporučená tloušťka filmu a obvyklé jednotky
- » Doporučená velikost vzorku
- » Názvy kolorantů (barviv nebo pigmentů)
- » Technické parametry kolorantů
- » Ceny
- » atd.

Gamut reálných pigmentů I

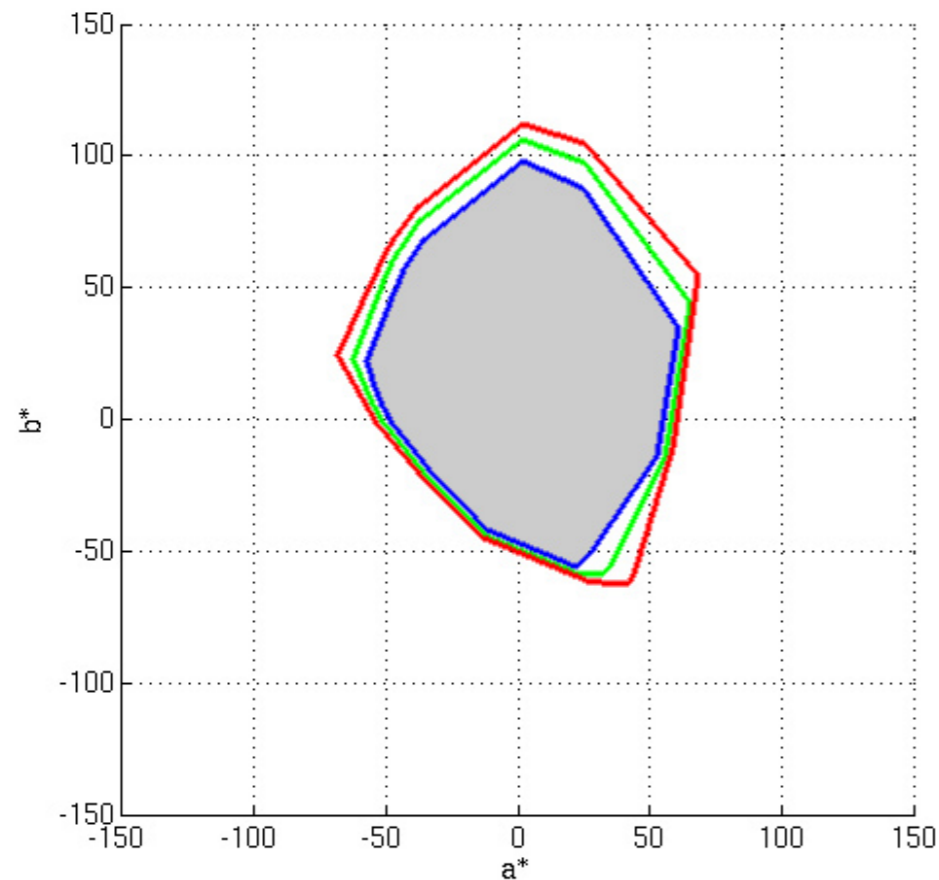


Pozor na použitá měřítka

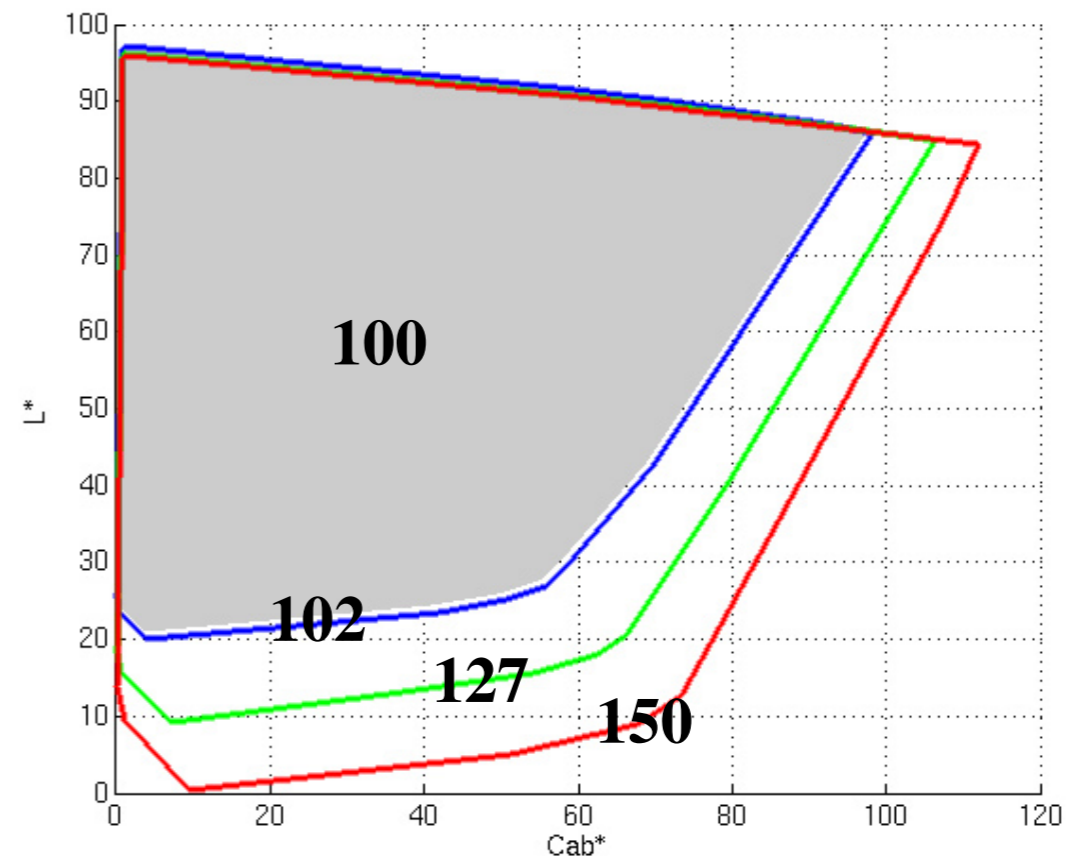


Prostor dosažitelných barev u reálných pigmentů a barviv je oproti Roesh-MacAdamovým limitům (teoreticky dosažitelné těleso barev sekundárních zářičů) výrazně menší z hlediska čistoty

Gamut reálných pigmentů II



(a) a^* - b^* projection



(b) C_{ab}^* - L^* projection

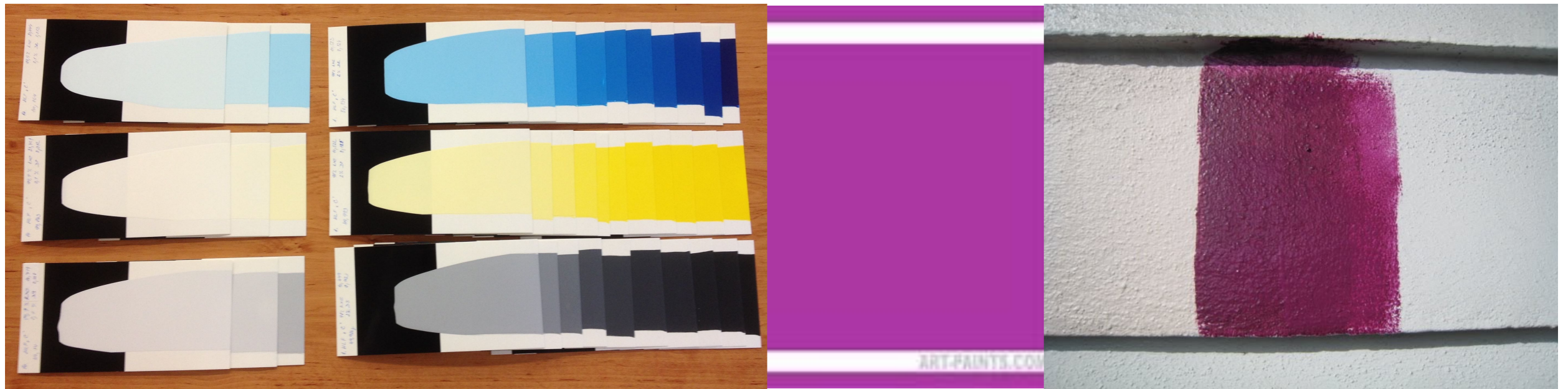
Gamut je rovněž závislý na použité povrchové úpravě.

Čím vyšší lesk, tím větší je rovněž gamut - viz. C^*L^* diagram: číslo udává procentuálně plochu vztaženou k laku bez povrchové úpravy (krycího laku), který je 100%, následuje:

102 - mat, 127 - polomat, 150 - lesk

Příprava databáze

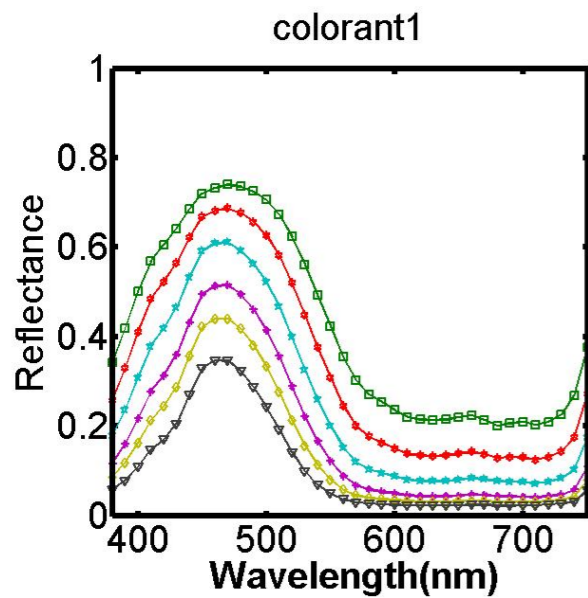
» Vizuální kontrola databáze



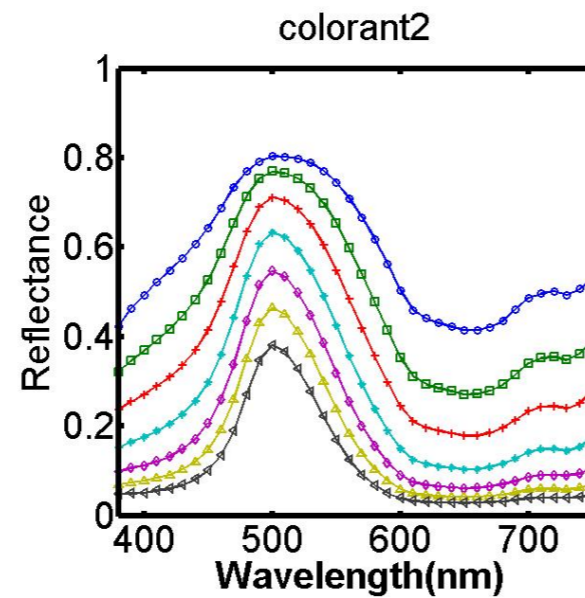
» Změření jednotlivých vzorků databáze

- » odrazivostní křivky - umožňují kontrolu případné kontaminace vzorku
- » K/S křivky umožňují kontrolu linearity, apod.

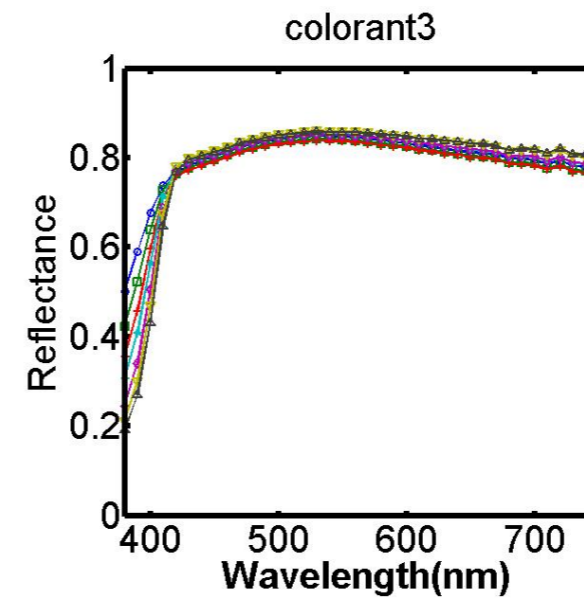
Koncentrační řady



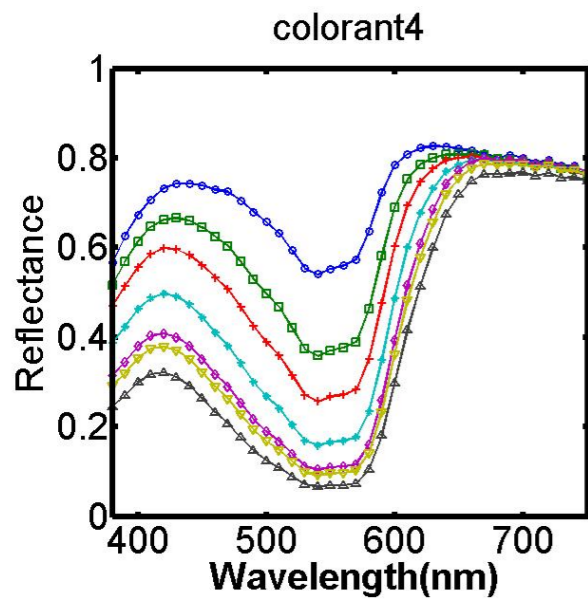
(a)



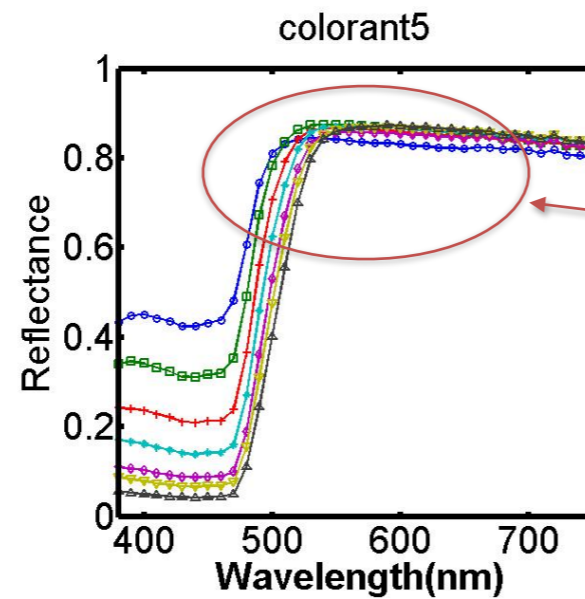
(b)



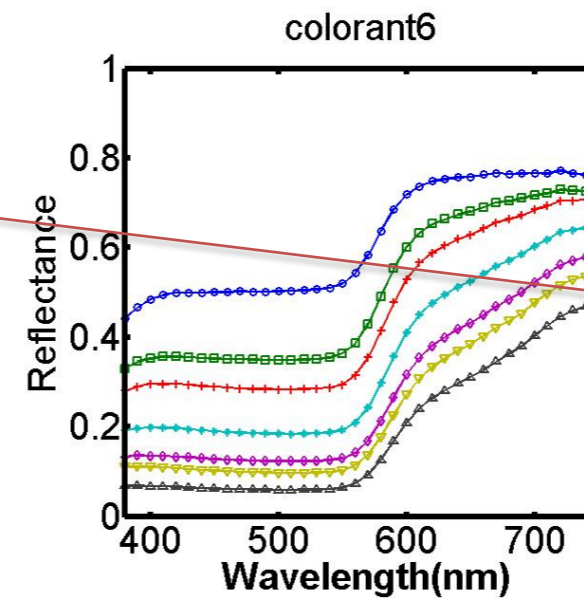
(c)



(d)



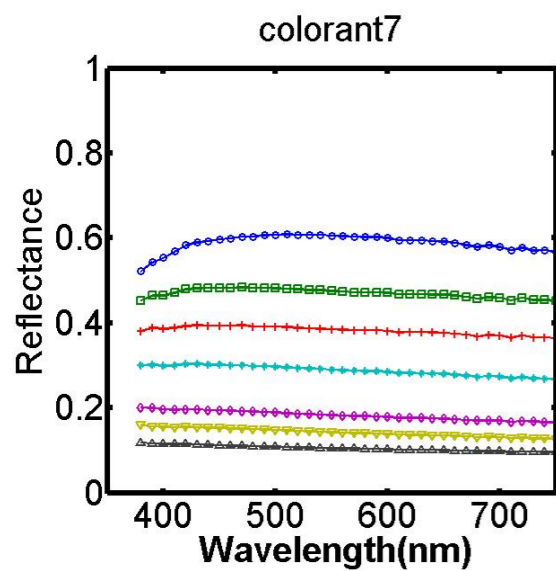
(e)



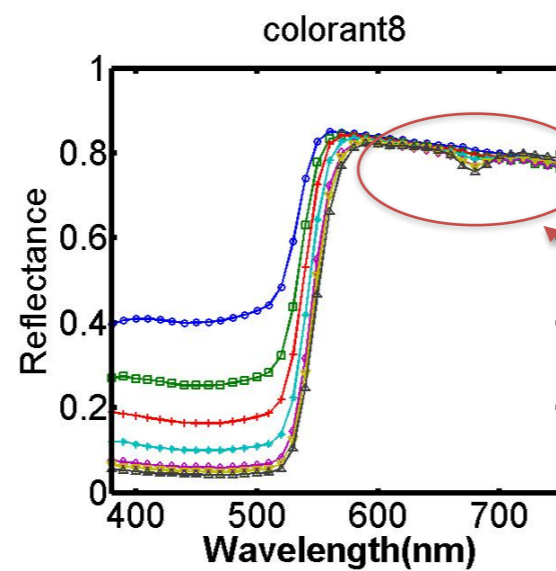
(f)

Křížení remisních křivek
- potenciální zdroj
problémů

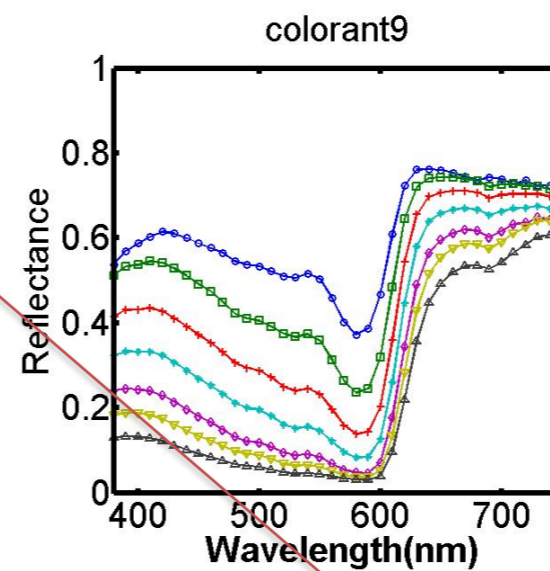
Koncentrační řady



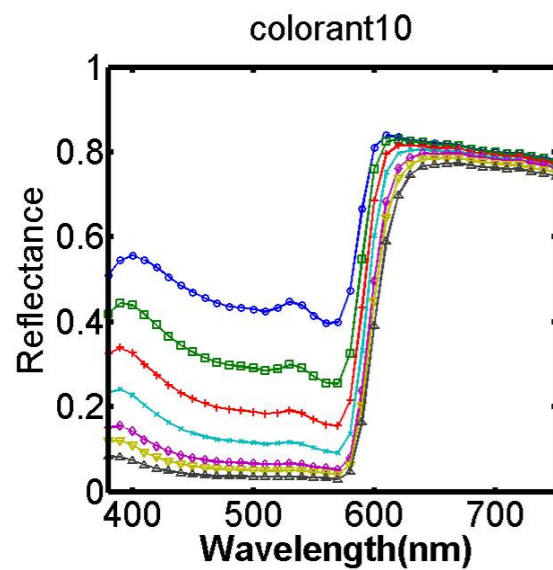
(g)



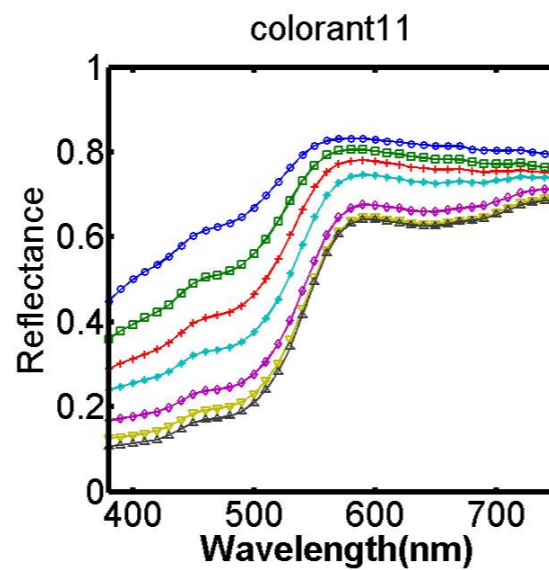
(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

Je tento průběh
remisních křivek
artefakt nebo
realita?

Příprava databáze

detailní informace:

- » Název databáze - DEMO DATA
- » Tloušťka filmu 1.0 (pouze u inkoustů v mikronech)
- » Doporučený typ vzorku
 - » inkousty - TRANSLUCENT
 - » nátěry - OPAQUE
- » Navážky kolorantů na 3 desetinná místa
- » Váhové jednotky - gramy

SAUNDERSONOVA KOREKCE

$$\beta_K = \frac{\beta_M}{1 - r_S + r_S \beta_M}$$

r_S je korekční koeficient povrchové reflexe, pro který nejlépe vyhovuje hodnota 0,4

Kubelka-Munkova funkce

Pro limitní případ tzv. polomasivu : $d = \infty$ je $bg = 0$ a $b = \beta_\infty$.

Platí :

$$\beta_\infty = a - \sqrt{a^2 - 1} = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\frac{K^2}{S^2} + 2\frac{K}{S}}$$

resp. :

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - \beta_\infty)^2}{2\beta_\infty} = f(\beta_\infty)$$

STANOVENÍ KOEFICIENTŮ ABSORPCE A ROZPTYLU - Aplikace Kubelka-Munkovy funkce

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - \beta_\infty)^2}{2\beta_\infty} = f(\beta_\infty) \quad \beta_\infty = a - \sqrt{a^2 - 1} = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\frac{K^2}{S^2} + 2\frac{K}{S}}$$

substitute $a = 1 + K/S$ $b = +\sqrt{a^2 - 1}$

$$R = \frac{1}{a + b \coth(kd)}$$

$$T = \frac{b}{a \sinh(kd) + b \cosh(kd)}$$

$$R^w = \frac{1 - R_{bg,w}[a - b \coth(kd)]}{a - R_{bg,w} + \coth(kd)}$$

$$a = \frac{1}{2} \frac{(R^b - R_{bg,b})(1 + R_{bg,w}R^w) - (R^w - R_{bg,w})(1 + R_{bg,b}R^b)}{R_{bg,w}R^b - R_{bg,b}R^w}$$

$$S_w = \frac{1}{bd} \operatorname{arccoth} \left[\frac{1 - aR_{bg,w} + (R_{bg,w} - a)R^w}{b(R^w - R_{bg,w})} \right] \quad S_b = \frac{1}{bd} \operatorname{arccoth} \left[\frac{1 - aR_{bg,b} + (R_{bg,b} - a)R^b}{b(R^b - R_{bg,b})} \right]$$

$$K = (a - 1)S$$

Postupy výpočtu receptury

Účelem výpočtu je stanovení koncentrací jednotlivých barviv c_j , tak, aby byl minimalizován výraz:

$$\min_{c_j} G(\beta_{pi}, \beta_i)$$

kde β_{pi} jsou odrazivostní data předlohy a β_i jsou odrazivostní data odhadu receptury

Postupy výpočtu receptury

Podle typu funkce G vede minimalizace předcházející rovnice na problém lineární nebo nelineární regrese.

Nejčastěji se provádí minimalizace :

a) Součtu čtverců odchylek funkcí $f(R_i)$, tedy vztahu:

$$\sum_{i=400}^{700} \left[f(R_{pi}) - f(R_i) \right]^2$$

b) Součtu čtverců odchylek remisí R_i , tedy vztahu:

$$\sum_{i=400}^{700} \left[R_{pi} - R_i \right]^2$$

Postupy výpočtu receptury

c) Odchylek trichromatických složek:

$$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$$

d) Celkové barevné difference:

$$\Delta E$$

Postupy výpočtu receptury

Průběh funkce $f(Ri)$ je závislý na vlnové délce λ a koncentraci.

Při dané jakékoli koncentraci barviva c je možné vypočítat hodnoty $f(Ri)$ a užitím rovnice

$$\beta_{\infty} = a - \sqrt{a^2 - 1} = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\frac{K^2}{S^2} + 2\frac{K}{S}}$$

remisní hodnoty vybarvení při kterékoli vlnové délce.

Naopak, s danou remisní hodnotou pro vybarvení provedené tímto barvivem je možné vypočítat hodnotu $f(Ri)$ a následně vypočítat koncentraci barviva inverzí rovnice

$$c = \frac{f(R_{\lambda}) - f(R_{S,\lambda})}{a_{\lambda}}$$

Spektrofotometrický postup výpočtu

$$\left. \begin{aligned} f(R_{\lambda_1}) &= f(R_{S,\lambda_1}) + a_{\lambda_1,1}c_1 + a_{\lambda_1,2}c_2 \\ f(R_{\lambda_2}) &= f(R_{S,\lambda_2}) + a_{\lambda_2,1}c_1 + a_{\lambda_2,2}c_2 \end{aligned} \right\} \text{pro 2 koloranty}$$

$$\left. \begin{aligned} f(R_{\lambda_1}) &= f(R_{S,\lambda_1}) + a_{\lambda_1,1}c_1 + a_{\lambda_1,2}c_2 + a_{\lambda_1,3}c_3 \\ f(R_{\lambda_2}) &= f(R_{S,\lambda_2}) + a_{\lambda_2,1}c_1 + a_{\lambda_2,2}c_2 + a_{\lambda_2,3}c_3 \\ f(R_{\lambda_3}) &= f(R_{S,\lambda_3}) + a_{\lambda_3,1}c_1 + a_{\lambda_3,2}c_2 + a_{\lambda_3,3}c_3 \end{aligned} \right\} \text{pro 3 koloranty}$$

Rovnice M

Spektrofotometrický postup výpočtu

V případě, že tuto soustavu lineárních rovnic převedeme do maticového zápisu, kdy:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{\lambda_1} \\ g_{\lambda_2} \\ g_{\lambda_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(R_{\lambda_1}) - f(R_{S,\lambda_1}) \\ f(R_{\lambda_2}) - f(R_{S,\lambda_2}) \\ f(R_{\lambda_3}) - f(R_{S,\lambda_3}) \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{\lambda_1,1} + a_{\lambda_1,2} + a_{\lambda_1,3} \\ a_{\lambda_2,1} + a_{\lambda_2,2} + a_{\lambda_2,3} \\ a_{\lambda_3,1} + a_{\lambda_3,2} + a_{\lambda_3,3} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix}$$

Pak rovnici M můžeme zapsat jako:

$$\mathbf{G} = \mathbf{A}\mathbf{C}$$

Spektrofotometrický postup výpočtu

Pro hledané koncentrace barviv pak adekvátně platí:

$$\mathbf{C} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{G}$$

Pokud zavedeme:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} q_{\lambda_1,1} & q_{\lambda_2,1} & q_{\lambda_3,1} \\ q_{\lambda_1,2} & q_{\lambda_2,2} & q_{\lambda_3,2} \\ q_{\lambda_1,3} & q_{\lambda_2,3} & q_{\lambda_3,3} \end{bmatrix} \Rightarrow \left. \begin{aligned} c_1 &= q_{\lambda_1,1} g_{\lambda_1} + a_{\lambda_2,1} g_{\lambda_2} + a_{\lambda_3,1} g_{\lambda_3} \\ c_2 &= q_{\lambda_1,2} g_{\lambda_1} + a_{\lambda_2,2} g_{\lambda_2} + a_{\lambda_3,2} g_{\lambda_3} \\ c_3 &= q_{\lambda_1,3} g_{\lambda_1} + a_{\lambda_2,3} g_{\lambda_2} + a_{\lambda_3,3} g_{\lambda_3} \end{aligned} \right\}$$

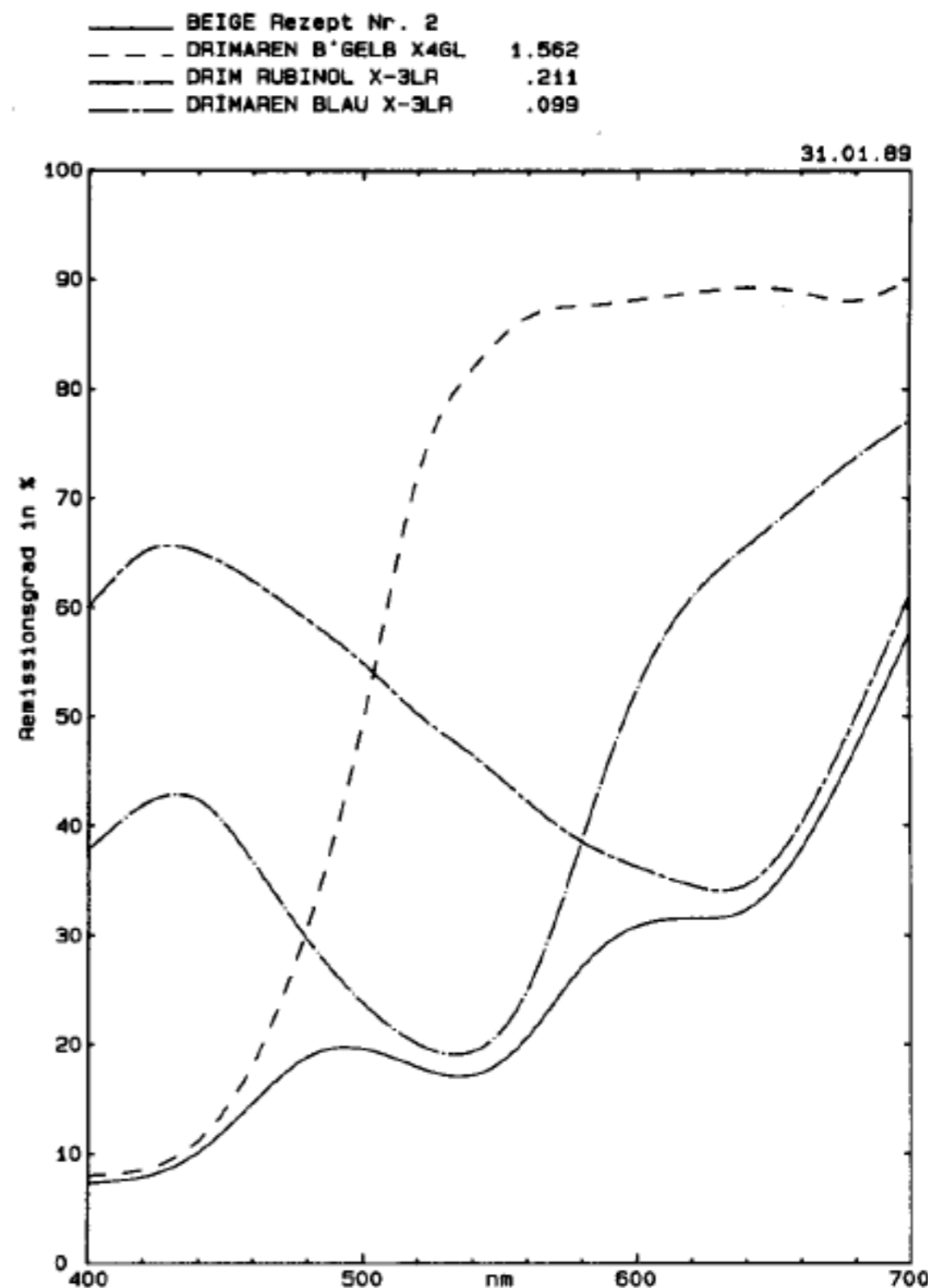
Tato metoda je velmi jednoduchá, byla-li spočítána inverzní matice \mathbf{Q} stačí pouze kalkulačka k nalezení neznámých koncentrací barviv.

Spektrofotometrický postup výpočtu

Tento postup je uplatněním metody multikomponentní analýzy známé z analytické chemie na případ remisních měření a barviv.

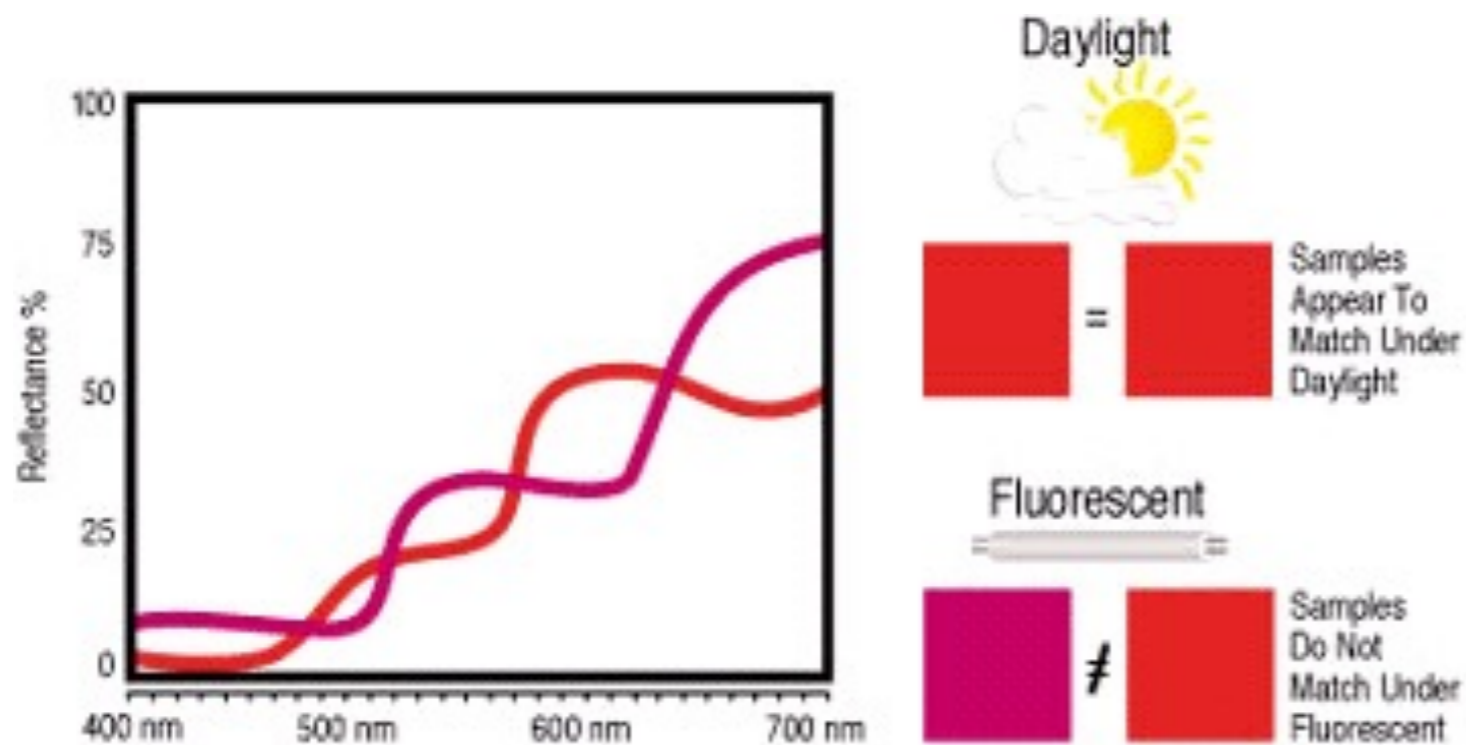
Na druhou stranu je nutno říci, že aplikovatelnost této metody se omezuje pouze na **isomerní** receptury a pro běžné případy praxe je prakticky *nepoužitelná*.

Důvodem je skutečnost, že obvykle nevíme jaká barviva byla použita pro vybarvení předlohy a je proto pravděpodobné, že receptura bude oproti předloze **metamerní**.

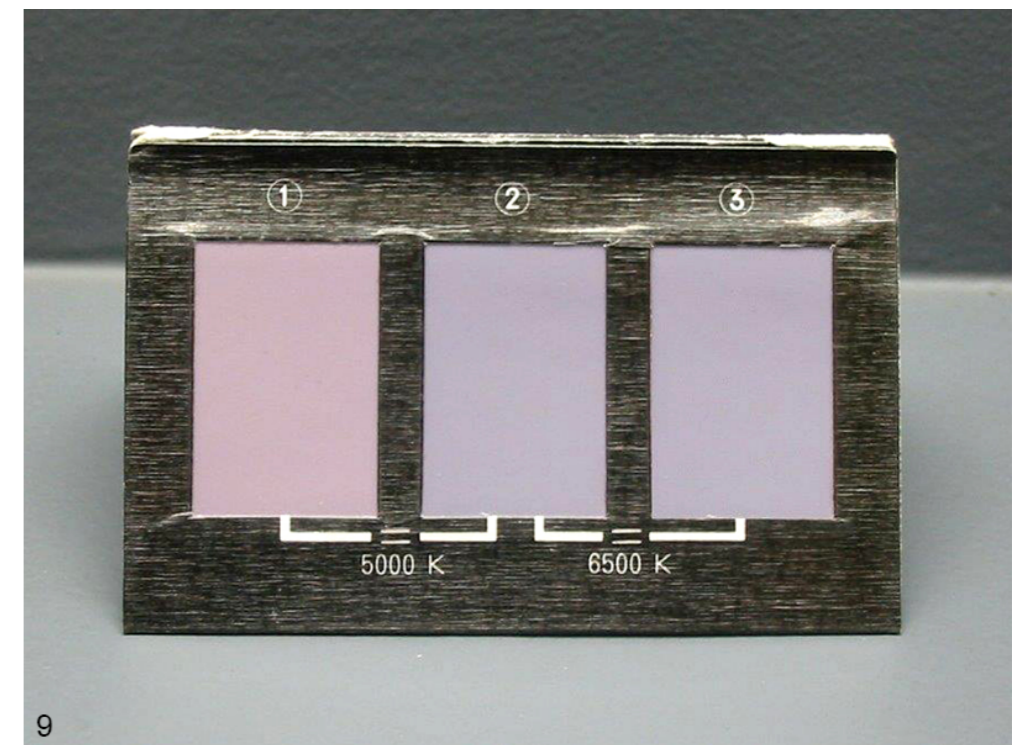


Kolorimetrický postup výpočtu

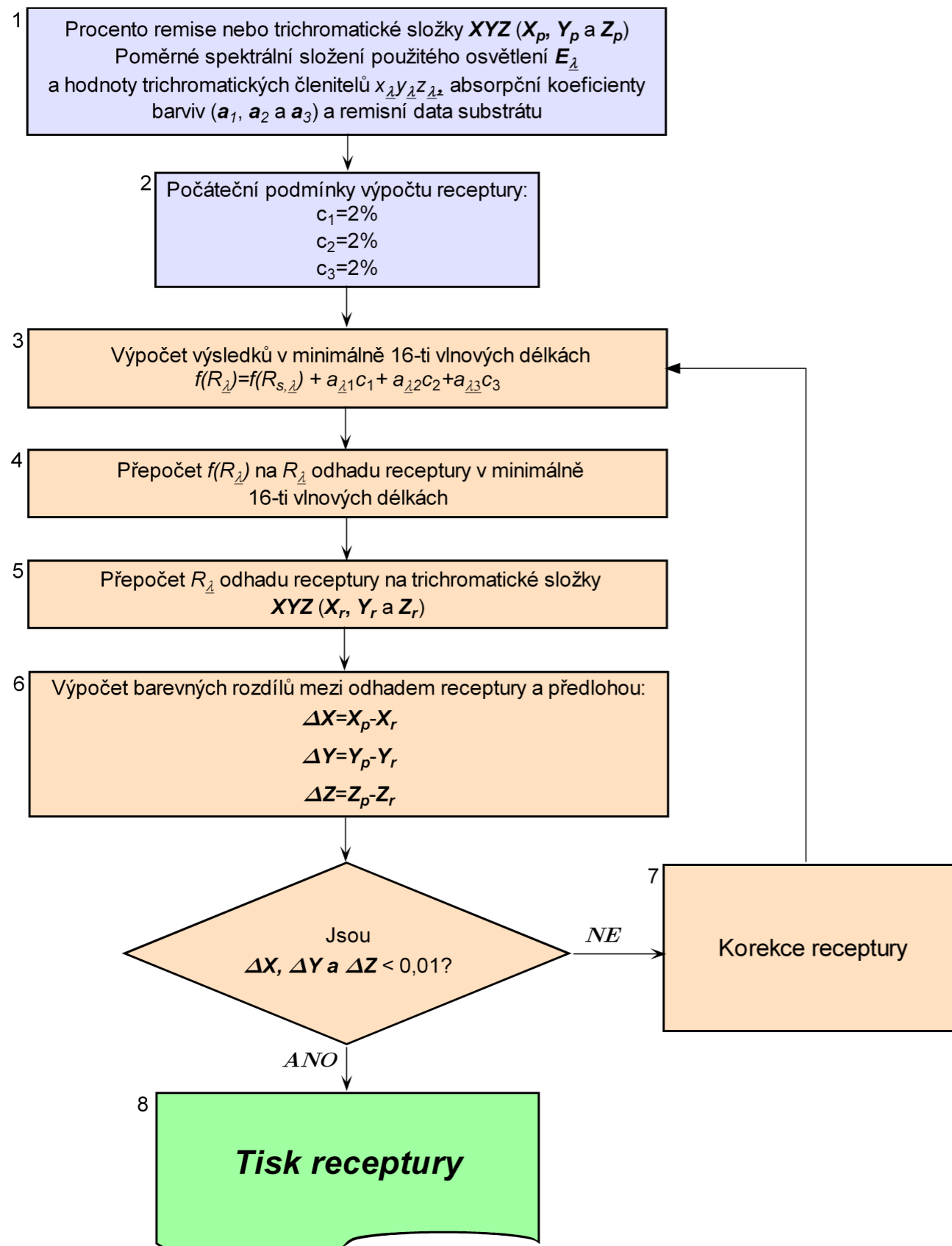
Na rozdíl od spektrofotometrického postupu, kde je výpočet založen na minimalizaci rozdílů mezi spektrálními daty předlohy a receptury, v případě kolorimetrického postupu výpočtu receptury jde obvykle o minimalizaci rozdílů v trichromatických složkách ΔX , ΔY , ΔZ , popř. ΔE .



Reflectance Curves of a Metameric Pair



Kolorimetrický postup výpočtu



V prvním kroku jsou do počítače vkládány hodnoty XYZ nebo remisní křivka předlohy, společně s názvy tří vybraných barviv, tato kombinace může být vybrána počítačem nebo operátorem podle předem určených pravidel pro kombinaci vhodných barviv.

Při druhém kroku je vytvořen první odhad receptury tak, že je buď využit vhodný algoritmus beroucí v úvahu optickou vydatnost předlohy (tzv. Allenova metoda), nebo metoda, kdy jsou počáteční koncentrace barviv nastaveny fixně na určitou hodnotu. Pokud použijeme metodu fixních koncentrací (např. 2%), je zřejmé, že v případě pastelových odstínů bude nutno podstatně více iterací než u hlubokých odstínů a obráceně.

Kolorimetrický postup výpočtu

Jestliže dělíme změnu u trichromatické složky X změnou koncentrace barviva č.1, měli bychom získat gradient $\Delta X/\Delta c_1$, který můžeme považovat za lineární na malém úseku barevného prostoru, a který může být použit k předpovědi změny u X , vyplývající z jakékoli malé změny v koncentraci Δc_1 . Podobné vztahy mohou být odvozeny pro Y a Z :

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= \left(\frac{\partial X}{\partial c_1} \right) \Delta c_1 \\ \Delta Y &= \left(\frac{\partial Y}{\partial c_1} \right) \Delta c_1 \\ \Delta Z &= \left(\frac{\partial Z}{\partial c_1} \right) \Delta c_1 \end{aligned} \right\}$$

Kolorimetrický postup výpočtu

Změníme-li koncentraci všech tří barviv o malé množství - Δc_1 , Δc_2 a Δc_3 změní se pochopitelně i složky X , Y a Z v závislosti na poloze a průběhu koncentračních řad jednotlivých barviv v barevném prostoru:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= \left(\frac{\partial X}{\partial c_1} \right) \Delta c_1 + \left(\frac{\partial X}{\partial c_2} \right) \Delta c_2 + \left(\frac{\partial X}{\partial c_3} \right) \Delta c_3 \\ \Delta Y &= \left(\frac{\partial Y}{\partial c_1} \right) \Delta c_1 + \left(\frac{\partial Y}{\partial c_2} \right) \Delta c_2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial c_3} \right) \Delta c_3 \\ \Delta Z &= \left(\frac{\partial Z}{\partial c_1} \right) \Delta c_1 + \left(\frac{\partial Z}{\partial c_2} \right) \Delta c_2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial c_3} \right) \Delta c_3 \end{aligned} \right\}$$

Přestože výrazy v závorkách výše uvedené matice lze numericky aproximovat cca 1% změnami koncentrace každého barviva a determinovat vliv na X , Y a Z , jak bylo ukázáno pro barvivo 1, je výhodnější využití diferenciálního počtu.

Kolorimetrický postup výpočtu

Zavedeme-li představu, že pro dvě barvy o velmi malém barevném rozdílu máme trichromatické složky X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1 a Z_2 , pro něž platí:

$$X_1 = \sum_{380}^{760} E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} R_{1,\lambda}$$

obdobně pro Y a Z

$$X_2 = \sum_{380}^{760} E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} R_{2,\lambda}$$

Pak, v případě že malou změnu v jednotlivých složkách vydělíme malou změnou koncentrace platí:

$$\frac{\partial X}{\partial c_i} = \sum_{380}^{760} E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \left(\frac{\partial R_{\lambda}}{\partial c_i} \right)$$

Kolorimetrický postup výpočtu

po substituci dostaneme:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial c_i} &= \sum_{380}^{760} E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \left(\frac{dR_{\lambda}}{d[f(R_{\lambda})]} \right) \left(\frac{\partial[f(R_{\lambda})]}{\partial c_i} \right) \\ \frac{\partial Y}{\partial c_i} &= \sum_{380}^{760} E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \left(\frac{dR_{\lambda}}{d[f(R_{\lambda})]} \right) \left(\frac{\partial[f(R_{\lambda})]}{\partial c_i} \right) \\ \frac{\partial Z}{\partial c_i} &= \sum_{380}^{760} E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \left(\frac{dR_{\lambda}}{d[f(R_{\lambda})]} \right) \left(\frac{\partial[f(R_{\lambda})]}{\partial c_i} \right) \end{aligned} \right\}$$

Abychom získali výrazy v závorkách ve výše uvedených vzorcích při dané vlnové délce λ , nejprve derivujeme rovnici

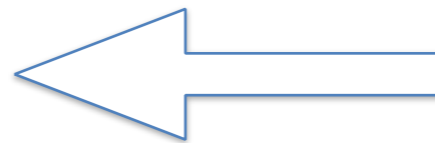
$$f(R_i) = \sum_{j=1}^m a_{ij} c_j + b$$

vzhledem k c_1 , c_2 a c_3 , výsledkem je rovnice ^{$i=1$} :

Je zřejmé, že výraz

$$\left(\frac{\partial[f(R_{\lambda})]}{\partial c_i} \right)$$

je absorpčním koeficientem pro i -té barvivo při vlnové délce λ .



$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial[f(R_{\lambda})]}{\partial c_1} \right) &= a_{\lambda,1} \\ \left(\frac{\partial[f(R_{\lambda})]}{\partial c_2} \right) &= a_{\lambda,2} \\ \left(\frac{\partial[f(R_{\lambda})]}{\partial c_3} \right) &= a_{\lambda,3} \end{aligned} \right\}$$

Kolorimetrický postup výpočtu

Použijeme-li jako funkci remise $f(R_\lambda)$ Kubelka-Munkovu funkci, pak můžeme psát:

$$\left(\frac{d[f(R_\lambda)]}{dR_\lambda} \right) = \frac{(1 - R_\lambda)^2}{2R_\lambda} \quad \text{a} \quad \left(\frac{dR_\lambda}{d[f(R_\lambda)]} \right) = \frac{2R_\lambda}{(1 - R_\lambda)^2}$$

Vzhledem k tomu, že vztah mezi funkcí remise $f(R_\lambda)$ a remisí R_λ je nelineární, mění se hodnota $d[f(R)]/dR$ v závislosti na absolutní hodnotě remise.

Hodnota $d[f(R)]/dR$ se aplikuje na velmi malou řadu remisí, většinou se počítá z remisní křivky předlohy. Jsou-li k dispozici pouze hodnoty XYZ předlohy, musí být počítána z remisní křivky odpovídající koncentracím současného receptu na konci každé opakující se smyčky. Podobnými výpočty můžeme získat parciální derivace barviva 2 a 3.

Kolorimetrický postup výpočtu

Matrice vlivu, která ukazuje, jak jsou změny XYZ ovlivněny změnami koncentrace barviva, není určena pro přímou aplikaci, ale používá se k určení “směru” korekční matice. K tomuto účelu se používá standardní algebraické matice k převedení matice vlivu :

$$\Delta c_1 = \left(\frac{\delta c_1}{\delta X} \right) \Delta X + \left(\frac{\delta c_1}{\delta Y} \right) \Delta Y + \left(\frac{\delta c_1}{\delta Z} \right) \Delta Z$$

$$\Delta c_2 = \left(\frac{\delta c_2}{\delta X} \right) \Delta X + \left(\frac{\delta c_2}{\delta Y} \right) \Delta Y + \left(\frac{\delta c_2}{\delta Z} \right) \Delta Z$$

$$\Delta c_3 = \left(\frac{\delta c_3}{\delta X} \right) \Delta X + \left(\frac{\delta c_3}{\delta Y} \right) \Delta Y + \left(\frac{\delta c_3}{\delta Z} \right) \Delta Z$$

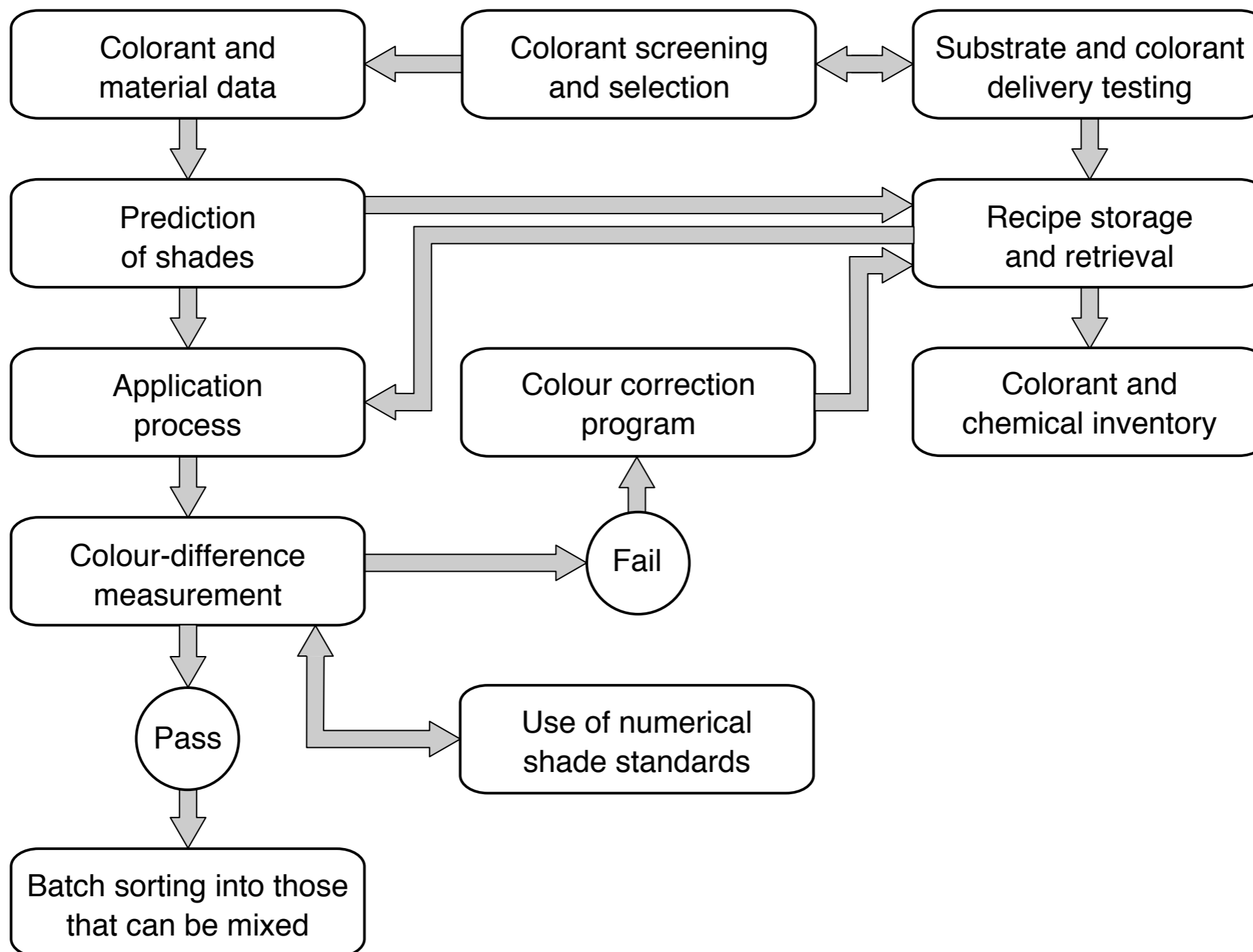
Nový opravený recept je pak :

$$\text{Nové } c_1 = \text{původní } c_1 + \Delta c_1$$

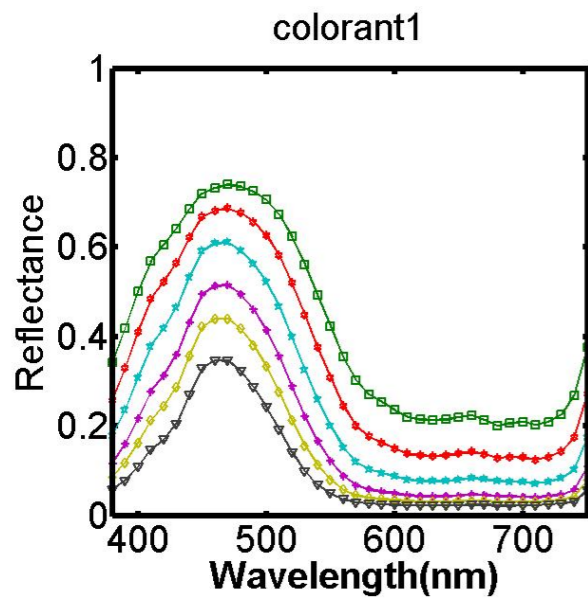
$$\text{Nové } c_2 = \text{původní } c_2 + \Delta c_2$$

$$\text{Nové } c_3 = \text{původní } c_3 + \Delta c_3$$

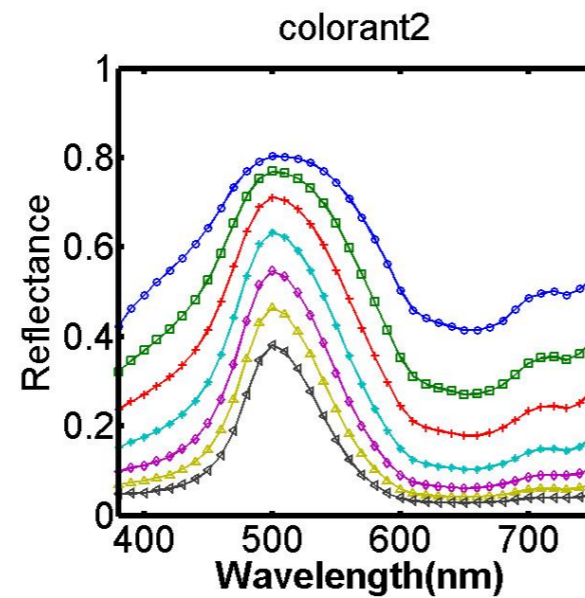
Receptování pomocí výpočetního systému



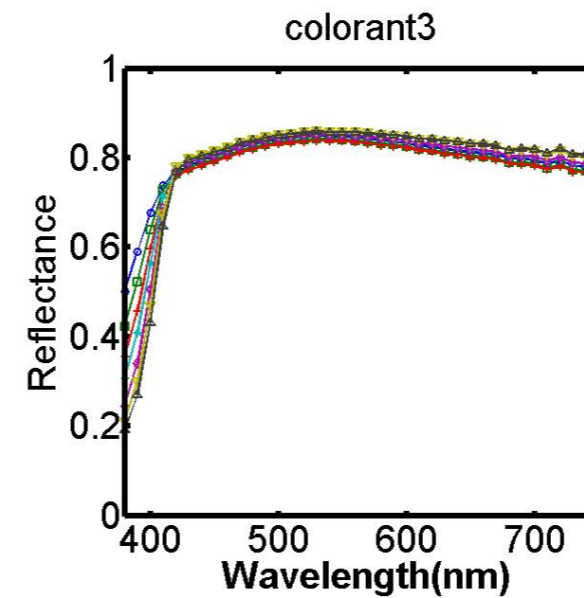
Koncentrační řady



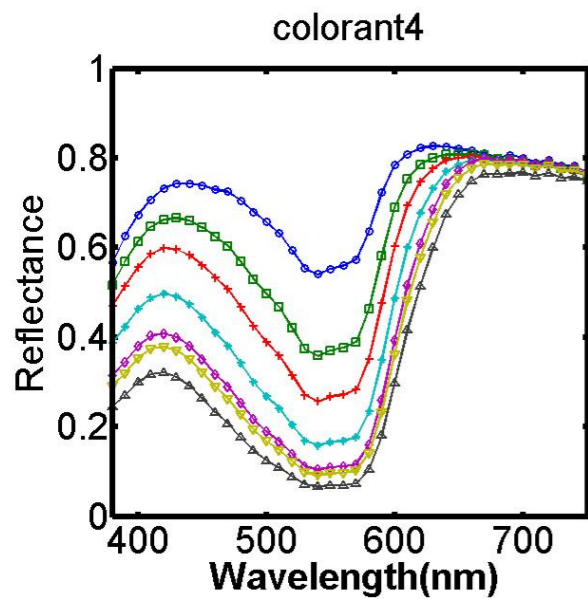
(a)



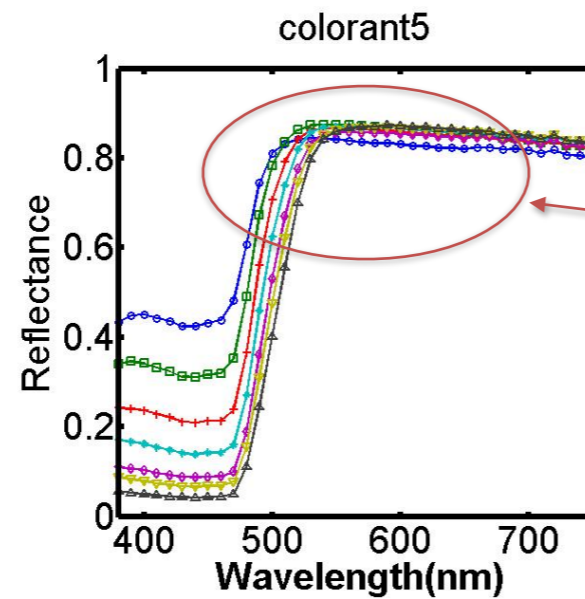
(b)



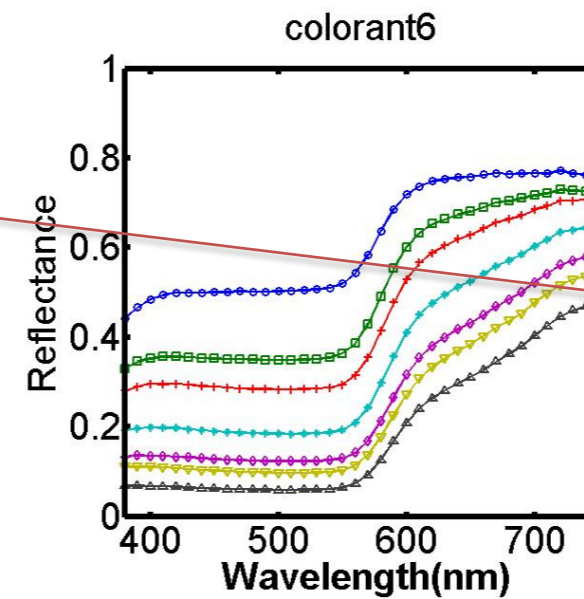
(c)



(d)



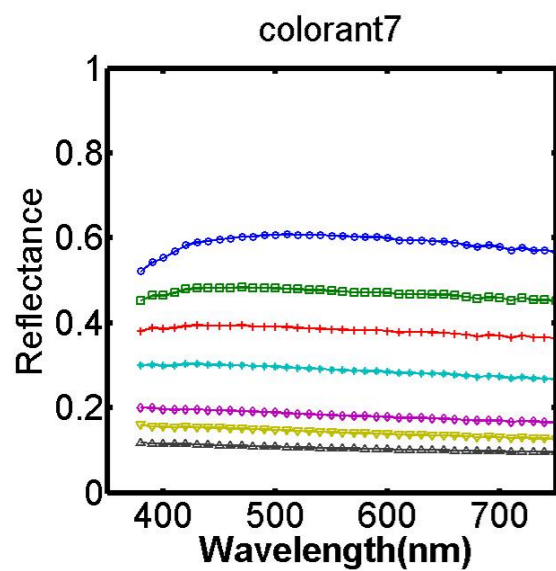
(e)



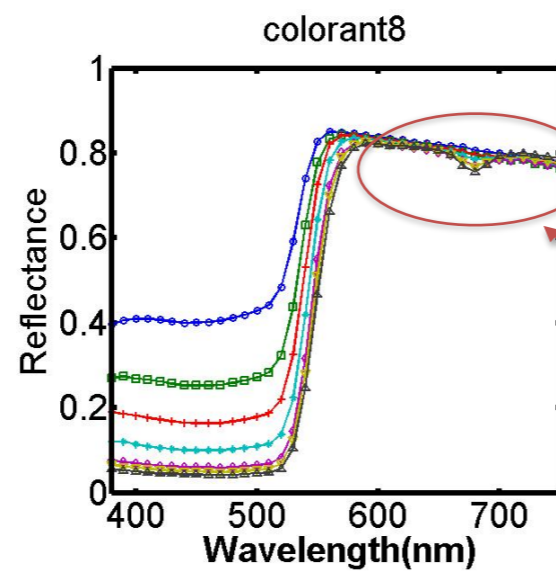
(f)

Křížení remisních křivek
- potenciální zdroj
problémů

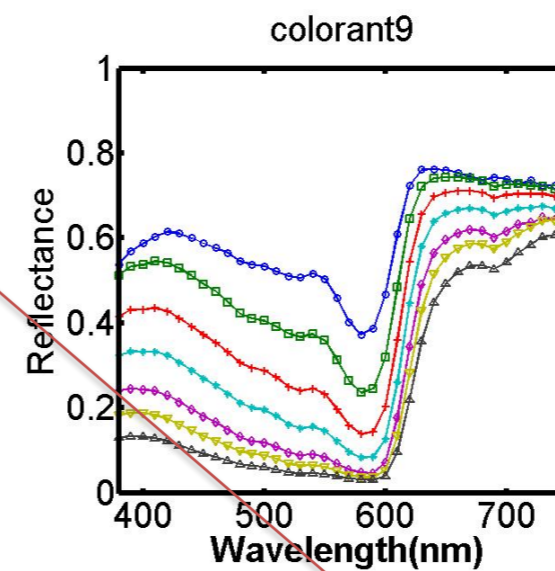
Koncentrační řady



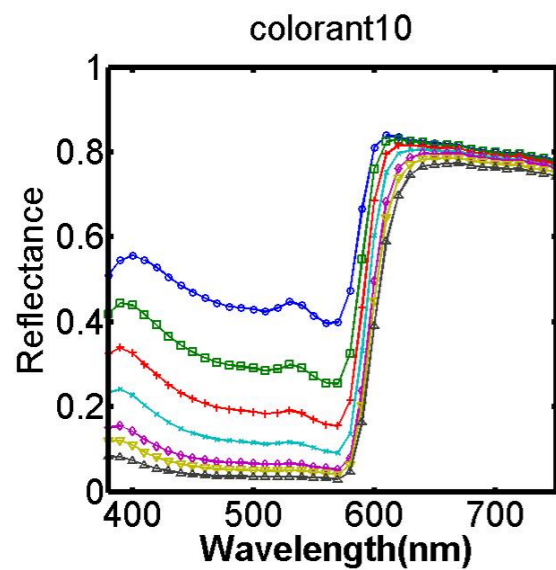
(g)



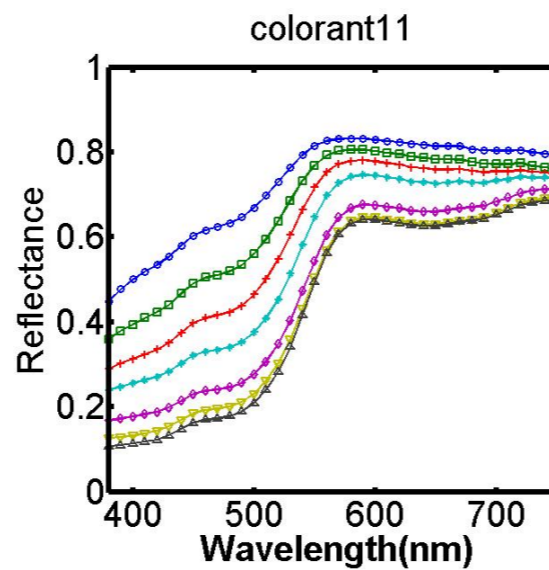
(h)



(i)



(j)



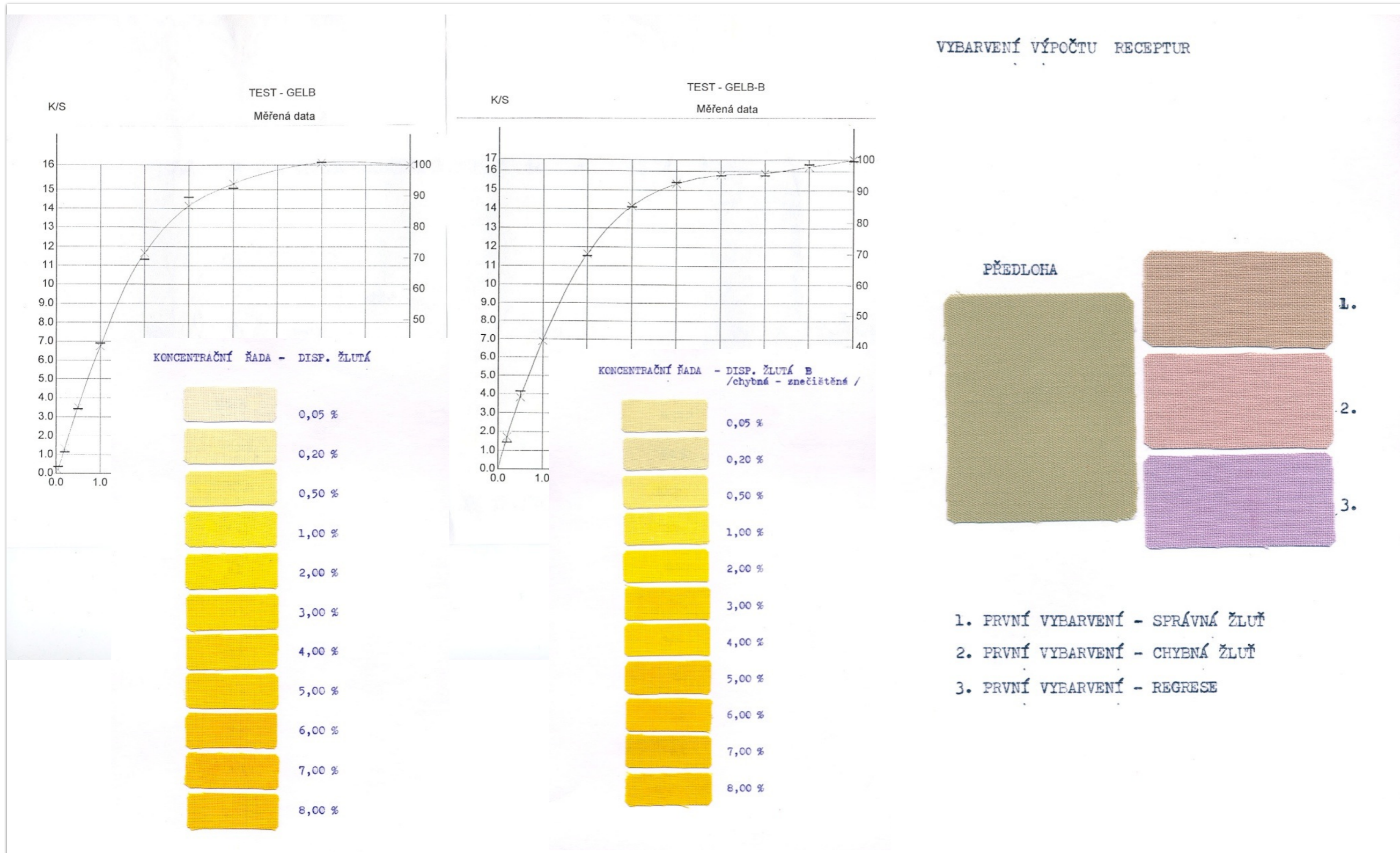
(k)



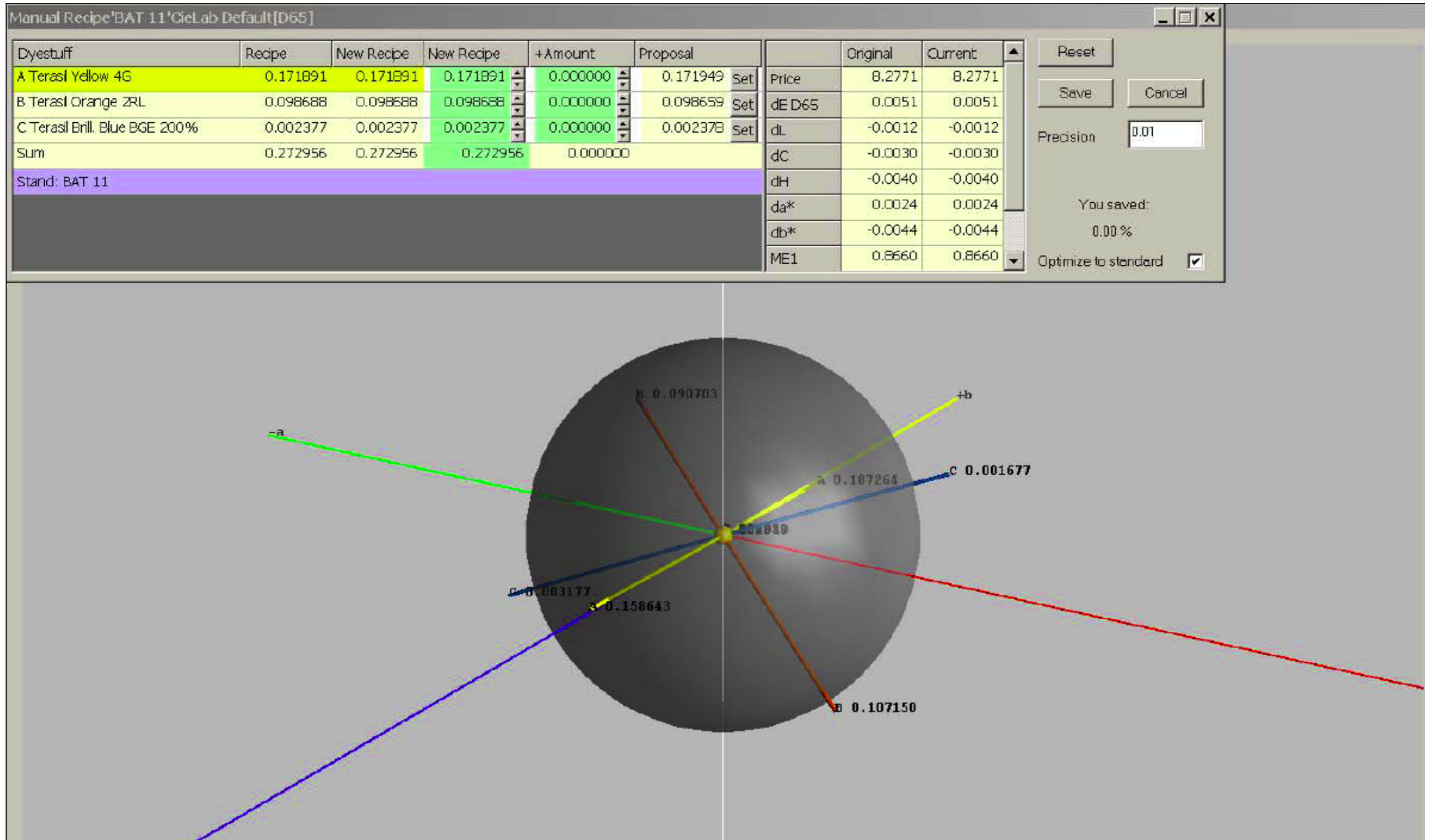
(l)

Je tento průběh
remisních křivek
artefakt nebo
realita?

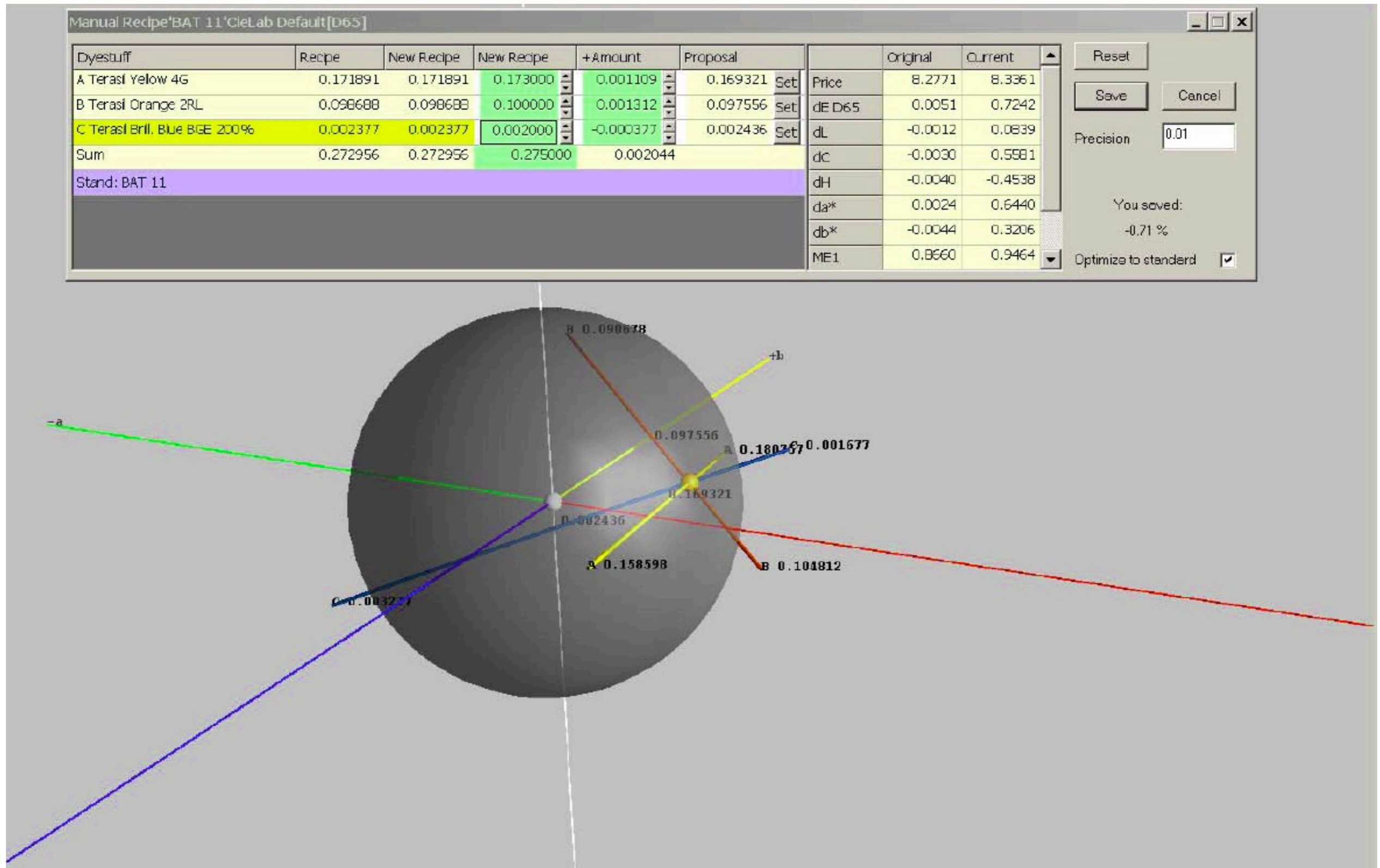
Koncentrační řada – vliv chyb přípravy



Citlivost receptury I



Citlivost receptury II



Laborrezept

Rezept Ref. Green - 1904-1100

Trial 1

Rezept ID 141-2

Vorlage Rec. Green :01

Artikel Cotton bleached

Komb Verf. Reactive Bezema Exhaust

| 7x2 | ≤ 0.2 | ≤ 0.5 | ≤ 1 | ≤ 2 | ≤ 3 | ≤ 4 | > 4 |
|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ≤ 50 | 0 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2 | 2.2 | 2.5 |
| > 50 | 0 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2 | 2.2 | 2.5 |

| | | | |
|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Farbstoffkosten | 0.03 | Hilfsmittelkosten | 0.13 |
|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|

Bemerkung

Dyeing

Callow

1

Volumen: 100.00 ml

Temperature

60.00 °

Bemerkung

Chemikalien zugeben

MERKX

Meropan

1.5000 g/l

1.50 ml 1:10

BIK 109

Biavin 109

0.3000 g/l

3.00 ml 1:100

NaCl

Common Salt

70.0000 g/l

7.00 g

| | | | |
|---------------------|-------------------------|---------------|---------------|
| <i>Sortiment</i> | <i>Reactive Exhaust</i> | <i>Anteil</i> | 100.00 |
| <i>Färbeprozess</i> | <i>Reactive exhaust</i> | <i>Faktor</i> | 1.00 |

**Total dyestuff
Conc.: 3.31%**

18

Bezaktiv Yellow S-8G

0.7685 %

7.68 ml 1:100

4

Bezaktiv Green S-4B

2.4317 %

2.43 ml 1:10

17

Bezaktiv Black S-GR

0.1127 %

1.13 ml 1:100

SoCar

Sodium Carbonate

5.0000 g/l

0.50 g

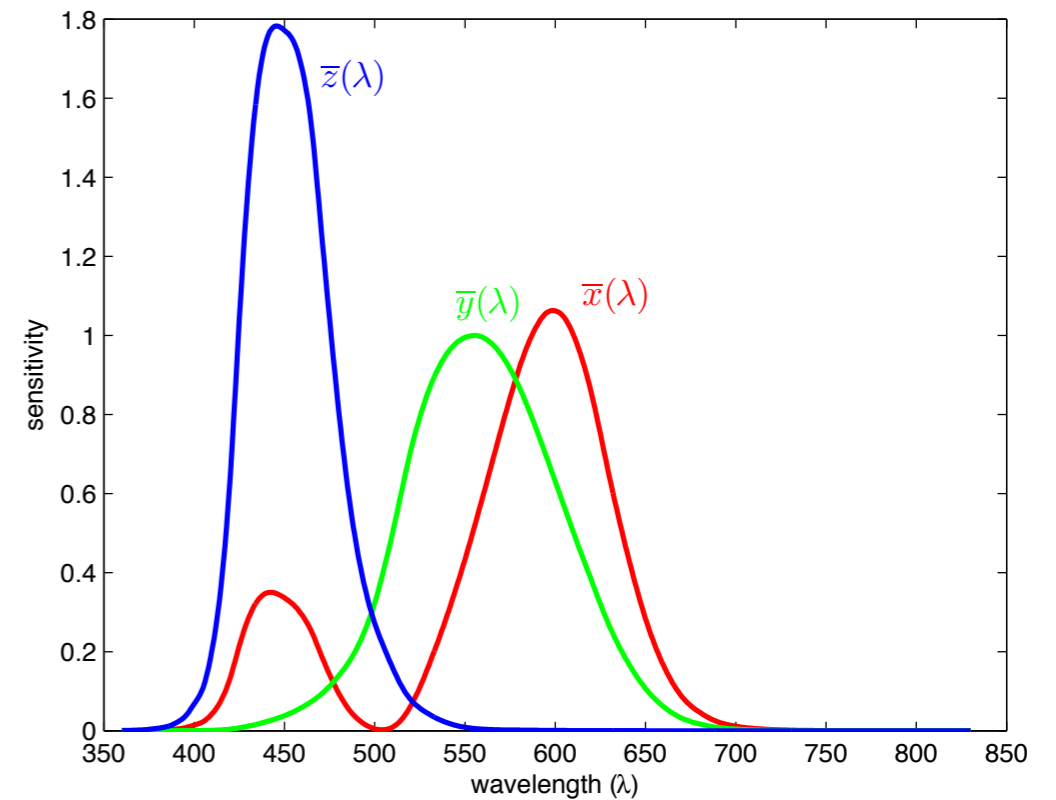
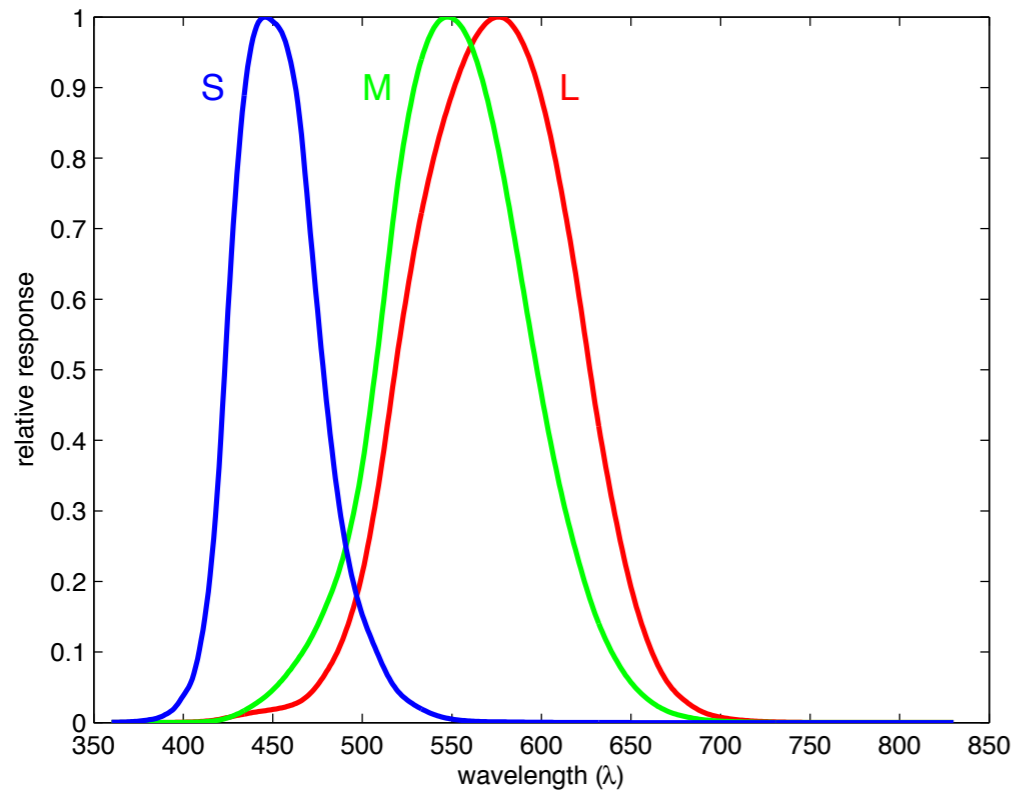
NaOH 38

Caustic Soda 39° Bé

2.2000 ml/l

2.20 ml 1:10

CIE Kolorimetrie 2006 (2015)



$$\bar{l}(\lambda) = \alpha_{i,l}(\lambda) \cdot 10^{\left[-D_{\tau,\max,macula} \cdot D_{macula,relative}(\lambda) - D_{\tau,ocul}(\lambda)\right]}$$

$$\bar{m}(\lambda) = \alpha_{i,m}(\lambda) \cdot 10^{\left[-D_{\tau,\max,macula} \cdot D_{macula,relative}(\lambda) - D_{\tau,ocul}(\lambda)\right]}$$

$$\bar{s}(\lambda) = \alpha_{i,s}(\lambda) \cdot 10^{\left[-D_{\tau,\max,macula} \cdot D_{macula,relative}(\lambda) - D_{\tau,ocul}(\lambda)\right]}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.91020 & -1.11212 & 0.20191 \\ 0.37095 & 0.62905 & -0.00001 \\ 0.00000 & 0.00000 & 1.00000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}$$