

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Pedagogická fakulta

**Barvy a jejich technická interpretace**  
bakalářská práce

autor: *David Krištóf*  
vedoucí práce: *Ing. Michal Šerý*

**České Budějovice 2008**

## **Anotace**

Cílem bakalářské práce je nastínit problematiku barevného vnímání, a to jak u člověka, tak v počítačové technice. Celá bakalářská práce se zabývá problematikou správy barev, a součástí této práce je i návod, jak zajistit co nejuvěrnější reprodukci barev mezi vstupním a výstupním zařízením.

## **Synopsis**

My bachelor work is focussed on an outline of colour perception both in man, and in information technology. The whole paper deals with colour management including an instruction how to ensure the truest colour reproduction between input and output device.

*Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.*

*Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.*

Datum:

David Krištóf

**Poděkování:**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Šerýmu za poskytnutí potřebných materiálů a za velmi cenné rady při jejím zpracování. Dále bych chtěl poděkovat firmě Tiskárna Protisk, s.r.o., za technickou podporu a zvláště pak Jiřímu Böhmovi za jeho čas a cenné rady.

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>1 CO TO JE BARVA</b> .....	<b>7</b>
<b>2 SVĚTLO</b> .....	<b>8</b>
2.1 SPEKTRUM.....	8
2.2 SPEKTRÁLNÍ CHARAKTERISTIKY.....	10
2.3 ZDROJ SVĚTLA.....	12
<b>3 VLASTNOSTI OBJEKTŮ</b> .....	<b>16</b>
<b>4 VLASTNOSTI OKA</b> .....	<b>18</b>
4.1 SÍTNICE .....	19
4.2 BARVA A INTENZITA SVĚTLA.....	21
<b>5 BARVA V ČÍSLECH</b> .....	<b>23</b>
5.1 DIAGRAM CHROMATIČNOSTI.....	25
<b>6 SKLÁDÁNÍ BAREV</b> .....	<b>28</b>
<b>7 BAREVNÉ PROSTORY</b> .....	<b>29</b>
<b>8 KOLORIMETRICKÝ SYSTÉM</b> .....	<b>29</b>
8.1 STANDARTNÍ SVÍTIDLA .....	30
8.2 STANDARTNÍ POZOROVATEL .....	30
8.3 KOLORIMETRICKÝ PROSTOR CIE XYZ.....	30
8.4 JEDNOTNÉ BAREVNÉ PROSTORY (CIE LAB,CIE LUV) .....	31
<b>9 COLORMANAGEMENT</b> .....	<b>32</b>
9.1 MĚŘENÍ BARVY .....	32
9.2 GAMUT.....	33
9.2 TRANSFORMACE GAMUTŮ .....	34
<b>10 ICC PROFIL</b> .....	<b>35</b>
10.1 TŘÍDY PROFILŮ.....	36
10.2 VYTVÁŘENÍ ICC PROFILU.....	38
10.3 NÁSTROJE PRO KALIBRACI .....	39
10.4 SKENER .....	39
10.5 MONITOR .....	41
10.5.1 Typy zobrazovacích zařízení.....	42
10.5.2 Subjektivní metody kalibrace .....	44
10.5.3 Objektivní metody kalibrace .....	44
10.6 KALIBRACE TISKÁRNY .....	46
10.6.1 Geometrické nastavení cartridge.....	46
10.6.2 Nastavení typu papíru a kvality tisku.....	46
10.6.3 Nastavení množství inkoustu.....	47
10.6.4 Vizualní ladění tisku.....	47
<b>10 POSTUP VYTVÁŘENÍ PROFILU MONITORU</b> .....	<b>49</b>

<b>12 PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>53</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>54</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>55</b>

# Úvod

Svět vidíme jako barevný a tento fakt vnímáme jako naprostou samozřejmost. Ve skutečnosti to není s naším vnímáním barev tak jednoduché. Vjem určitého odstínu barvy záleží na mnoha aspektech, a v této bakalářské práci se pokusím tyto aspekty nastínit a popsat postup pro správnou a věrnou reprodukci barevné fotografie na běžných zařízeních, jako jsou stolní inkoustové tiskárny.

V dnešní době většina lidí již vlastní digitální fotoaparát a PC, na kterém si pořízené fotografie prohlíží, případně edituje. V lepším případě vlastní i další vstupní zařízení, jako je skener, který mu slouží například k digitalizaci fotografie pořízené analogovým fotoaparátem. A ta samá většina určitě už řešila problém, kdy naskenovaná fotografie neměla tak „pěkné barvy“ jako originál, a co teprve to zklamání, když ji později na své tiskárně vytisknul.

Všechny tyto problémy se řeší pomocí správy barev, a právě správou barev se zabývá tato bakalářská práce.

# 1 Co to je barva?

Barvu můžeme vnímat několika způsoby. Běžný člověk ji vnímá prostě jen jako vlastnost objektu. Aniž bychom se nad tím nějak moc zamýšleli, často mluvíme o „zelené trávě“, „červených jahodách“ či „žlutém slunci“. Ti, kteří jsou znalí fyzikálních zákonů zase tvrdí, že barva je určena vlnovou délkou elektromagnetických vln. A jiní zase, že barva je vlastně světlo, nebo spíše, že barva je vlastností světla.

Nakonec všichni mají pravdu, respektive část pravdy. Barva je dána směsicí všech tří výroků. Barva je událost, která vzniká téměř vždy mezi třemi účastníky: zdrojem světla, pozorovaným objektem a pozorovatelem( pokud pozorujeme přímo objekt který světlo vyzařuje, pak tato událost vzniká pouze mezi dvěma účastníky). Této události se říká *„barevná událost“*. Barevná událost je vjem, který vzniká v pozorovateli, a je dána vlastností zdroje světla, tedy jeho vlnovou délkou, a jakým způsobem světlo daný objekt modifikuje. Změní-li se kterýkoli z těchto účastníků, změní se i výsledný vjem, tedy barva. Pokud chceme pochopit co je to barva, nelze zabrousit jen do jednoho vědeckého oboru, ale rovnou do tří: fyziky, chemie a biologie. Fyzika nám pomůže popsat a pochopit vlastnosti světla. Chemie nám objasní, jak povrchové vrstvy těles ovlivňují světlo a jakým způsobem atomy a molekuly absorbují světelnou energii. Biologie nám vysvětlí neurofyzilogii oka a mozku a okrajově i psychologii. Barva je tedy poměrně složitý pojem.

Postupně si tedy, krok za krokem, probereme všechny tři odvětví vědy, tak abychom dobře pochopili, jak vlastně vzniká barevný vjem. Ale abychom nezůstali jen u lidského vnímání barev, vysvětlíme si, jak takovou barvu vnímá počítač, respektive operační systém, a jak ji prezentuje výstupnímu zařízení. [1]



## 2 Světlo

Světlo je nedílnou součástí barvené události. Bez světla by prostě k žádnému barevnému vjemu dojít nemohlo. Nicméně ne každé světlo vzniká stejně a různé charakteristiky světla nám zásadně ovlivňují barevné vnímání, a tak se nejdříve musíme podívat na podstatu světla.

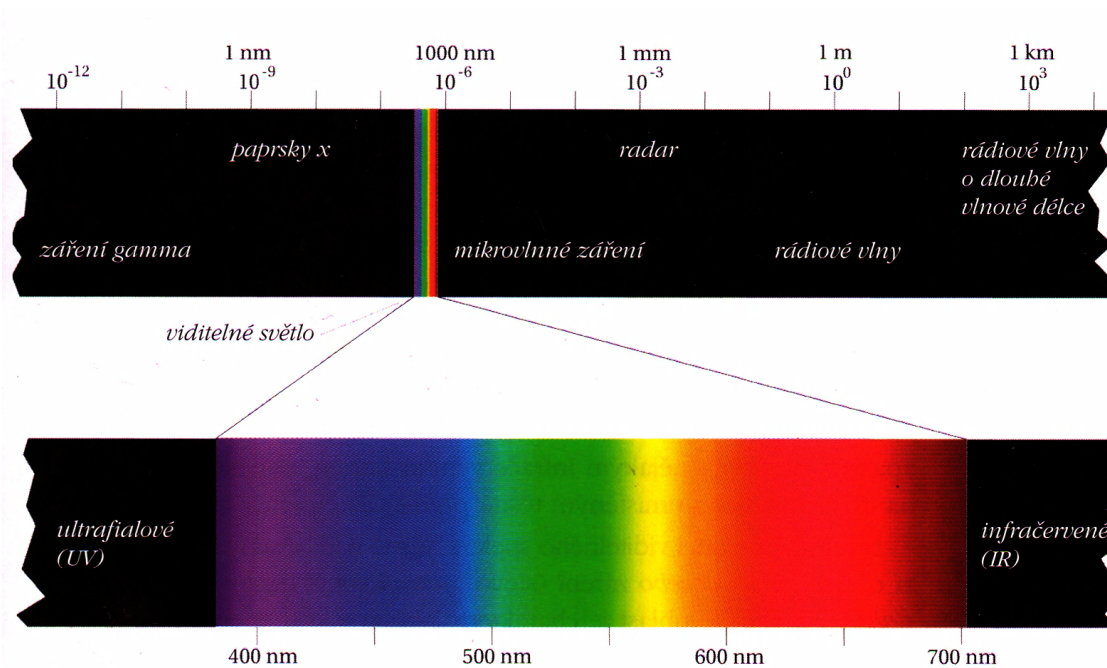
Fyzikální podstatou světla se fyzikové zabývali již v 18. století. Tehdy se nemohli shodnout, zda modelovat světlo lépe pomocí částic, tento názor zastával sir Issac Newton, nebo raději pomocí vln, jak tvrdil Christian Huygens. Tento spor vyřešili až zastánci kvantové teorie, mezi něž patřili např. Max Planc nebo Albert Einstein. Ti tvrdili, a též experimenty potvrdili, že světlo je tvořeno proudem částic zvaných *foton*, přičemž při šíření světla prostorem se projevuje částicový charakter světla, zatímco při styku s prostředím se projevuje spíše charakter vlnový.

Co je však zajímavé, že rychlost jakou letí foton nezávisí na jeho energii, jelikož rychlost fotonů je v daném prostředí stejná pro všechny, tedy konstantní. Co se však s energií mění je kmitavost fotonu. Jelikož, jak už jsme zjistili, je rychlost fotonu konstantní, a čím větší energii foton má, tím rychleji kmitá, pak mezi dvěma periodami urazí menší vzdálenost. Můžeme tedy konstatovat, že energie fotonu je přímo úměrná jeho vlnové délce. Tedy, čím větší má foton energii, tím je vlnová délka kratší. [ 1 ]

### 2.1 Spektrum

Obecně platí, že vlnové délky světla se pohybují v řádech nanometrů(zkratka nm) neboli  $10^{-6}$  m. Celý rozsah energetických hladin, kterých nabývají fotony při šíření

prostorem se nazývá *spektrum*. Začínaje zářením *gamma* a konče *rádiovými vlnami*. Lidské oko je však schopno zaznamenat jen malou část tohoto spektra. Námi viditelná část spektra se nachází někde v rozmezí 380 nm až 700 nm, a nazývá se *viditelné spektrum*, nebo také *viditelné světlo*(Obr.1).



Obr.1 Světelné a viditelné spektrum

Lidský zrak však reaguje na každou vlnovou délku odlišným způsobem, a tak rozdílné vlnové délky vyvolávají v člověku vjemy rozdílných barev. Dostáváme se tak k tomu, že rozdílným vlnovým délkám můžeme zase přiřadit rozdílnou barvu, kterou představují. Na jednom konci viditelného spektra je červená barva, která reprezentuje fotony s menší energií, tedy delší vlnovou délkou. Dál se dostáváme přes oranžovou, žlutou a zelenou až k modré a fialové, která je na druhém konci viditelného spektra, a reprezentuje tak fotony s vyšší energií a tedy kratší vlnovou délkou. [1]

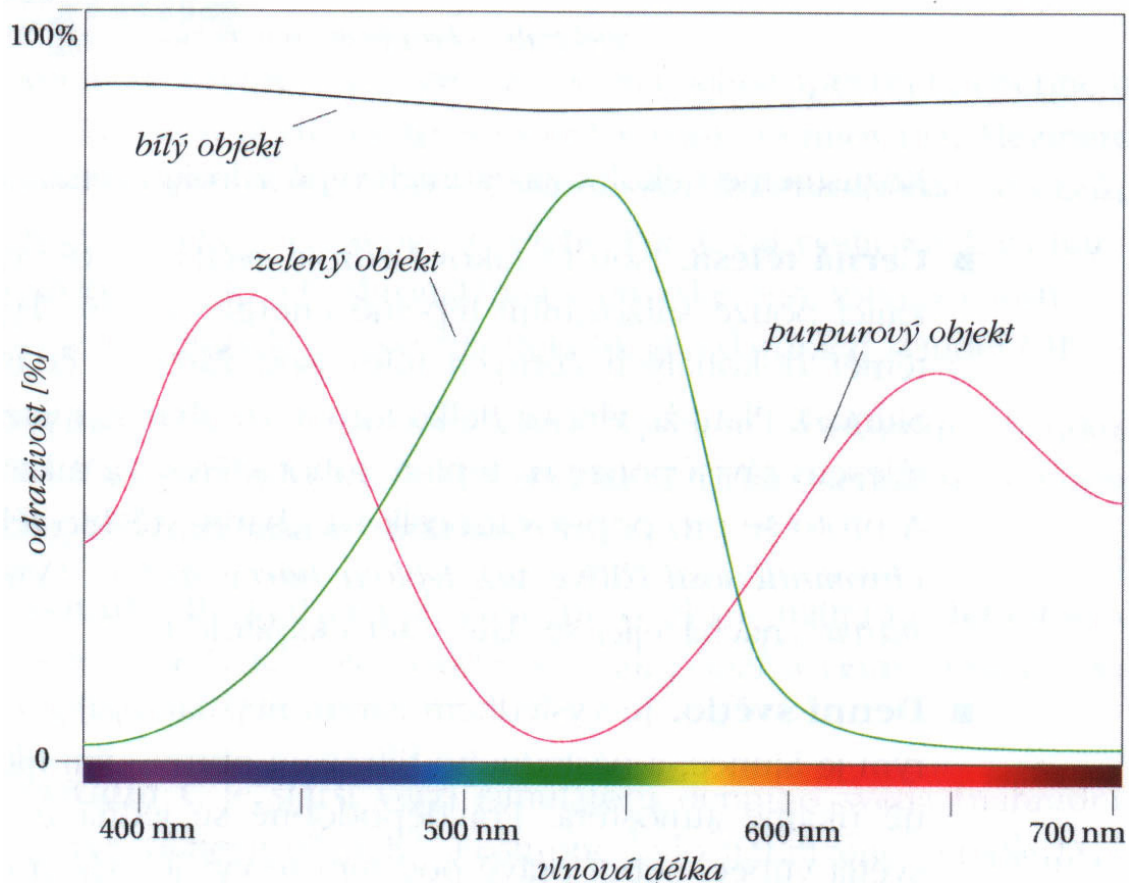
Pozn.: *Sir Issac Newton tvrdil, že existuje ve viditelném spektru mezi barvou modrou a fialovou také barva indigová. Rozděлил tak viditelné spektrum na 7 částí a mnozí historikové tvrdí, že tak chtěl přirovnat toto rozdělení k hudební oktávě.*

Většinou se ti, kteří se zabývají problematikou barev, zaobírají jen viditelnou částí barevného spektra, ale někdy je nutné brát v potaz části spektra těsně u té části námi viditelné. Jedná se zejména o *ultrafialové záření* a o *záření infračervené*. Na infračervené záření jsou totiž velmi citlivé CCD čipy v digitálních fotoaparátech a kamerách, a tím zásadně ovlivňují výslednou barevnost fotografie, a proto je třeba počítat i s touto částí spektra, která následuje hned za odstínem červené barvy, tedy částí spektra s fotony s malou energií a tedy větší vlnovou délkou. Tento problém se řeší tak, že se do objektivů přidávají tzv. *infračervené filtry*. Záření ultrafialové se nachází v části spektra před odstínem fialové, tedy v části spektra s fotony s velkou energií a tedy menší vlnovou délkou. Tohoto záření se využívá u tzv. *ultrafialových vyjasňovačů*. Tyto vyjasňovače absorbují fotony, jejichž vlnové délky odpovídají ultrafialovému záření, a ty pak reemitují fotony ve viditelné části spektra. Této vlastnosti se říká fluorescence, a využívají ji například výrobci papírů, inkoustů či výrobci prášků na praní. Vyvolávají tak iluzi extrémně bílého papíru, prádla nebo jasného inkoustu. Problém je v tom, že tyto přísady pak značně ovlivňují práci s některými měřicími přístroji, a například takový papír vnímají jinak než lidské oko. [ 1 ]

## 2.2 Spektrální charakteristiky

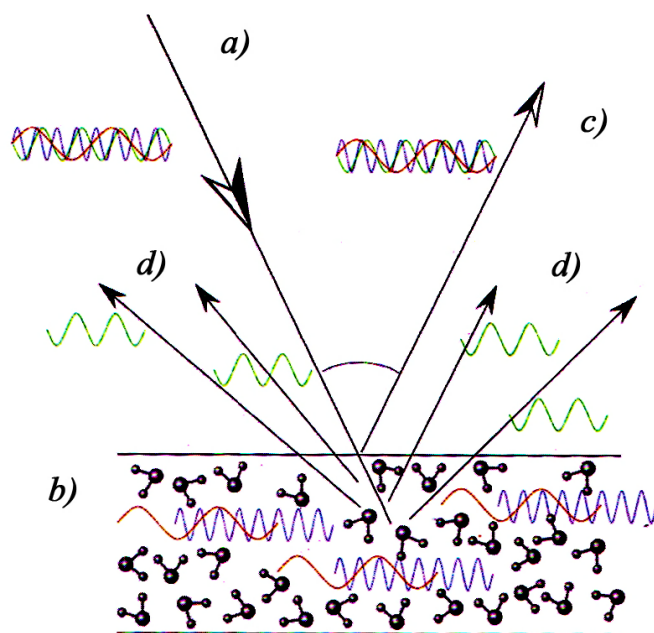
Až na syté zelené a červené laserové světla se nesetkáme se světlem, které by bylo tvořeno z fotonů jedné vlnové délky (tzv. monochromatické světlo). Reálné světlo, které vidíme naším okem je tedy složeno směsicí fotonů různých vlnových délek, a výsledná barva pak závisí na poměrech jednotlivých vlnových délek. Například čisté bílé světlo je složeno ze všech vlnových délek viditelného spektra v téměř shodném množství fotonů. Světlo ze zeleného objektu má zase naproti tomu velmi málo fotonů s malou vlnovou délkou a málo fotonů s velkou vlnovou délkou, ale velké množství fotonů se střední vlnovou délkou.

Množství zastoupení jednotlivých vlnových délek ve světle odraženého z daného objektu může být znázorněna tzv. *spektrální charakteristikou* (Obr.2).



Obr.2 Spektrální charakteristiky tří různých objektů

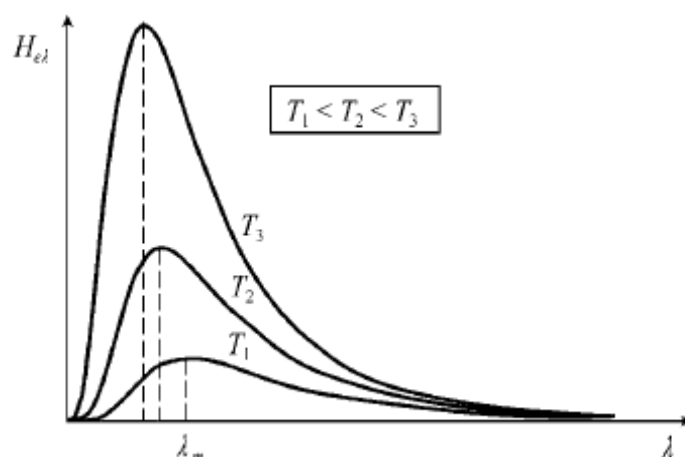
Na obr.3 je znázorněno jak dochází při odrazu světla od objektu ke změně jeho spektrální charakteristiky. Kde a) je dopadající bílé světlo, b) povrch objektu tvořící molekuly, které pohlcují fotony s krátkými a dlouhými vlnovými délkami, c) zrcadlově odražené světlo od objektu, které nemusí být ovlivněno povrchem, d) rozptýleně odražené světlo, obsahující fotony neabsorbované povrchem objektu, v tomto případě odpovídající zelenému světlu. Takový objekt se nám pak jeví jako zelený. [1]



Obr.3 Odraz světla od objektu

## 2.3 Zdroje světla

Ovšem nezáleží jen na spektrální charakteristice odraženého světla od objektu, ale zásadní je spektrální charakteristika zdroje světla. Zdroje světla jsou objekty, které na základě různých fyzikálních principů generují optické záření. Podle typu se dělí na bodové, lineární (štěrbiny) a plošné. Podle průběhu vyzařovaného spektra na zdroje spojitého (např. žárovky) nebo diskrétního záření (např. světlocitlivé diody, některé výbojky). Spojité spektrum světelného záření může vzniknout např. teplotním zářením těles. Tvar spektra lze popsat Planckovým vyzařovacím zákonem (Obr.4). [3]



Obr.4 Spojité spektrum světelného záření

Množství energie  $E$  vyzářené jednotkovou plochou povrchu tělesa za jednotku času vyjadřuje *intenzita vyzařování* :

$$H_e = \frac{d^2 E}{dS dt} = \frac{d\phi_e}{dt} \quad [1]$$

kde  $\Phi_e$  je zářivý tok. Pro absolutně černé těleso, tj. těleso, které energii neodráží ani jím neprochází lze souvislost mezi intenzitou vyzařování  $H_e$  a absolutní teplotou tělesa  $T$  (v kelvinech) vyjádřit pomocí Stefan-Boltzmannova zákona:

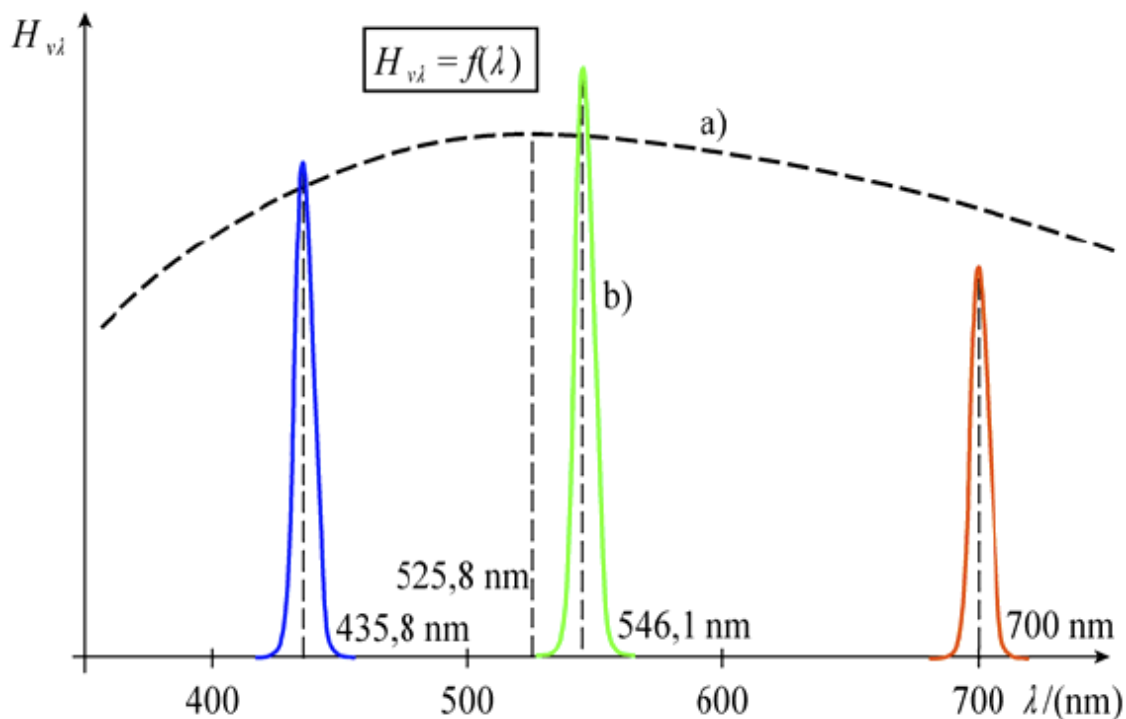
$$H_e = \int_0^{\infty} H_{e\lambda} d\lambda = \sigma T^4 \quad [2]$$

kde  $H_{e\lambda}$  je spektrální intenzita vyzařování,  $\lambda$  vlnová délka světla,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$  je Stefan - Boltzmannova konstanta. Množství absorbované (vyzářené) energie je úměrné velikosti plochy pod odpovídající křivkou  $H_{e\lambda} = f(\lambda)$ .

Z polohy maxima lze pomocí Wienova posunovacího zákona určit teplotu tělesa

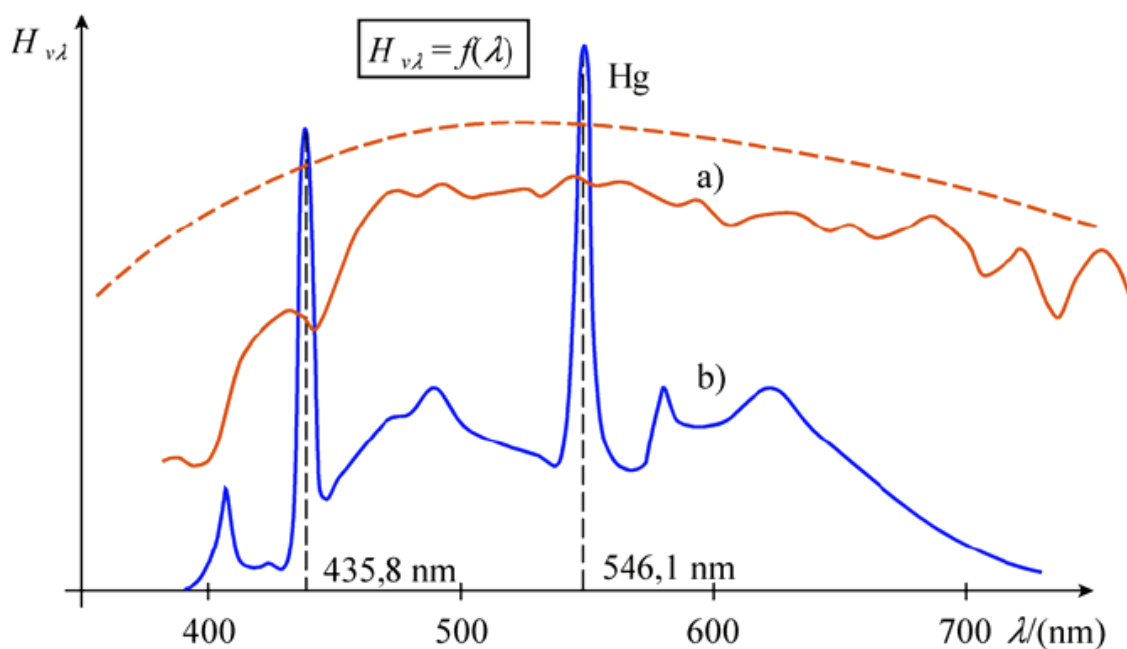
$$T = b/\lambda_m \quad [3]$$

kde  $b = 2,89 \cdot 10^{-3}$  m.K. Z obr. 1 je zřejmé, že poloha maxima se se zvyšující teplotou posouvá ke kratším vlnovým délkám.[3]



Obr. 5 Ideální zdroj a) spojitého, b) diskrétního světelného záření ( $T = 5500$  K)

Na obr. 2 jsou společně se spektrální intenzitou vyzařování absolutně černého tělesa o teplotě  $T = 5500$  K ( $\lambda_m = 525,8$  nm),  $H = 5,2 \cdot 10^7$  W.m $^{-2}$  nakreslena spektra tří diskrétních světelných zdrojů (r - červené, g - zelené, b - modré), jejichž složením vznikne světlo stejné barvy (barevné teploty) a světlosti. Jejich vlnové délky byly zvoleny podle normy CIE ( $\lambda_r = 700,0$  nm,  $\lambda_g = 546,1$  nm,  $\lambda_b = 435,8$  nm). Aby bylo dosaženo stejné barevné teploty byly zvoleny intenzity světelných zdrojů  $H_r \approx 4,8 \cdot 10^7$  W.m $^{-2}$ ,  $H_g \approx 5,2 \cdot 10^7$  W.m $^{-2}$ ,  $H_b \approx 4,9 \cdot 10^7$  W.m $^{-2}$ . [3]



Obr. 6 Reálný zdroj a) spojitého, b) diskrétního světelného záření ( $T = 5500$  K),  
čárkovaně – ideální zdroj světla (záření absolutně černého tělesa)

I když Slunce můžeme považovat za absolutně černé těleso, bude se spektrum záření dopadající na zemský povrch lišit od charakteristik uvedených na obr. 1 (obr. 2). Je to způsobeno např. polohou Slunce vzhledem k Zemi, atmosférickými podmínkami, počasím apod. Typické spektrální charakteristiky světelného záření dopadajícího na zemský povrch (tzv. ozáření) jsou znázorněny na obr. 3 pro  $T \approx 5500$  K společně se spektrem rtuťové výbojky, jejíž barevná teplota je také přibližně  $T \approx 5500$  K. Podle CIE je doporučený zdroj světelného záření stimulující denní světlo D65 ( $T = 6500$  K,  $\lambda_m = 444,6$  nm), pro kalibrované osvětlení světelných boxů (např. skenery) zdroj D55 ( $T = 5500$  K,  $\lambda_m = 525,5$  nm). Někdy se používají i světelné zdroje D60 a D50 odpovídajících teplot a vlnových délek.[3]



### 3 Vlastnosti objektů

Objekty, které nevyzařují energii v oblasti viditelného světla (380 nm – 780 nm) nelze pozorovat přímo. Lze je vidět pouze tehdy, pokud na ně dopadne světlo ze zdroje optického záření (spojitého, diskrétního). Přitom je registrováno buď odražené ( $E_{ep}$ ) nebo prošlé světlo ( $E_{et}$ ), absorbované světlo způsobuje zvyšování vnitřní energie tělesa ( $E_{ea}$ ). Je zřejmé, že dopadající výkon energie na jednotku plochy (tzv. ozáření) je roven součtu výkonů absorbovaného, odraženého a prošlého světla[3]

$$E_e = E_{ep} + E_{et} + E_{ea} \quad [4]$$

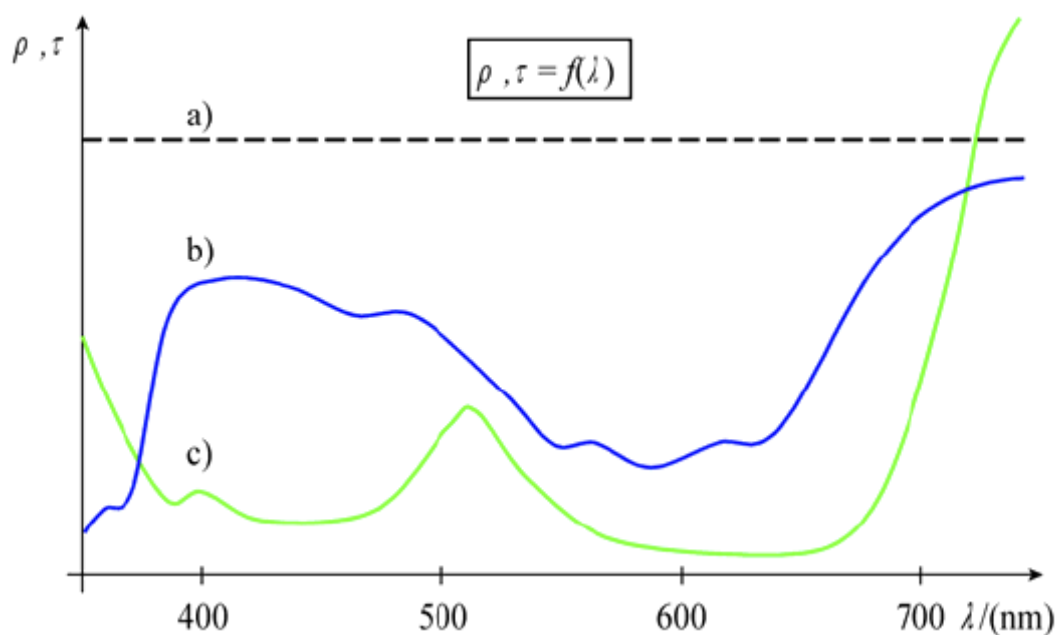
Z praktických důvodů se používají relativní veličiny: *odrazivost* (reflektance  $\rho = E_{ep}/E_e$ ), *propustnost* (transmitance  $\tau = E_{et}/E_e$ ) a *pohltivost* (absorptance  $\alpha = E_{ea}/E_e$ ), jejichž součet je roven:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad [5]$$

Krajní meze odpovídají absolutně černému tělesu ( $\alpha = 1$ ), absolutně bílému tělesu ( $\rho = 1$ ) a absolutně průzračnému tělesu ( $\tau = 1$ ). Pokud závisí veličiny  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $\tau$  v oblasti viditelného spektra na vlnové délce hovoříme o barevných tělesech. Množství energie vyzárené (prošlé, odražené) bodovým zdrojem světla (bodem povrchu) do jednotkového prostorového úhlu určuje veličina *zář*:

$$L_e = dH_e / d\Omega \quad \text{resp.} \quad L_e = dE_e / d\Omega \quad [6]$$

Na *obr.7* je znázorněn průběh odrazivosti (resp. propustnosti) na vlnové délce světla pro absolutně bílé (absolutně průzračné) a pro barevná tělesa.

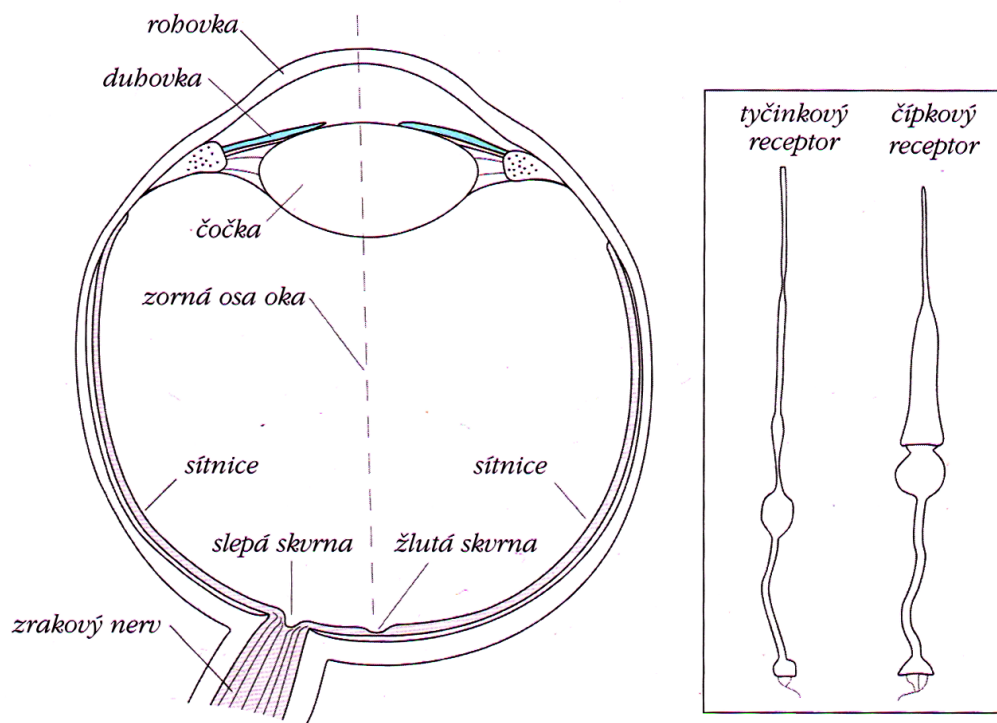


Obr. 7 Spektrální charakteristiky absolutně bílého (a) a barevného tělesa (b, c), modrého (b) a zeleného (c)

Na obr. 7 jsou uvedena dvě spektra barevných těles, první z nich odráží (propouští) v oblasti krátkých vlnových délek (modrá barva), druhé v oblasti středních vlnových délek optického záření (zelená barva). Maxima ve spektrálních závislostech mimo oblast viditelného záření (i když reflektance, resp. transmittance je větší než v oblasti viditelného spektra) neovlivňuje barvu těles. Projekční plátna (filmová, dataprojektorů a zpětných projektorů) jsou vyráběna tak, aby se jejich vlastnosti blížily vlastnostem bílého tělesa (nefluorescentní, izotropně difundující s reflektancí  $\rho \rightarrow 1$ ), optické prvky (čochky, optická vlákna) vlastnostem průzračného tělesa (nefluorescentní, nedifundující s transmittancí  $\tau \rightarrow 1$ ).[3]

## 4 Vlastnosti oka

Oko je bezsporu mezi třemi účastníky barevné události to nejsložitější. Celý zrakový systém sestává ze samotného oka, skládající se z mnoha částí, a pokračuje zrakovým nervem až hluboko do mozku. Pro zprávu barev je ovšem nejdůležitější z čeho se oko skládá a jak rozlišuje barvy. Zpráva barev právě vychází ze schopnosti oka, rozeznat tři základní barvy a dále pak rozeznat i barvy protikladné. [1,3]



Obr.8 průřez pravým okem shora. Vpravo pak obrázek tvaru tyčinek a čípků.

Hlavní lámavou plochou je rohovka, index lomu rohovky je 1.37, za rohovkou je tekutina s indexem lomu 1.33 a pak je čočka. Struktura čočky je velmi zajímavá, je složena z jednotlivých vrstev o různém indexu lomu. Uprostřed má index lomu 1.40 a na krajích 1.38. Čočka slouží pouze pro jemné doladění obrazu. Obraz je zaostřován změnou tvaru čočky působením svalů (ciliárních) okolo čočky, jsou-li svaly uvolněny je

přední strana čočky téměř rovinná (oko je zaostřeno na nekonečno), naopak při zaostřování na blízký objekt se oční svaly stáhnou, čelní strana čočky se zakříví a ohnisková délka oční čočky se zmenší. Ohniskovou délku oční čočky není možné zmenšovat libovolně, oko není schopno zaostřit objekty ve vzdálenosti menší než je jistá mez kterou označujeme jako **blízký bod**  $d$ . Mladé oko má blízký bod přibližně ve vzdálenosti 0.25 m. Naopak nejbližší bod na nějž je oko schopno zaostřit nazýváme **vzdálený bod**  $D$ . Vzdálený bod pro zdravé oko leží v nekonečnu. Ve spojitosti se schopností oka zaostřit na blízký a vzdálený bod se zavádí míra této schopnosti, kterou nazýváme **amplituda akomodace**, definovaná jako rozdíl převrácených hodnot blízkého a vzdáleného bodu :

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \quad [7]$$

Mírou amplitudy akomodace je **dioptrie**. Schopnost oka akomodovat se mění s věkem.

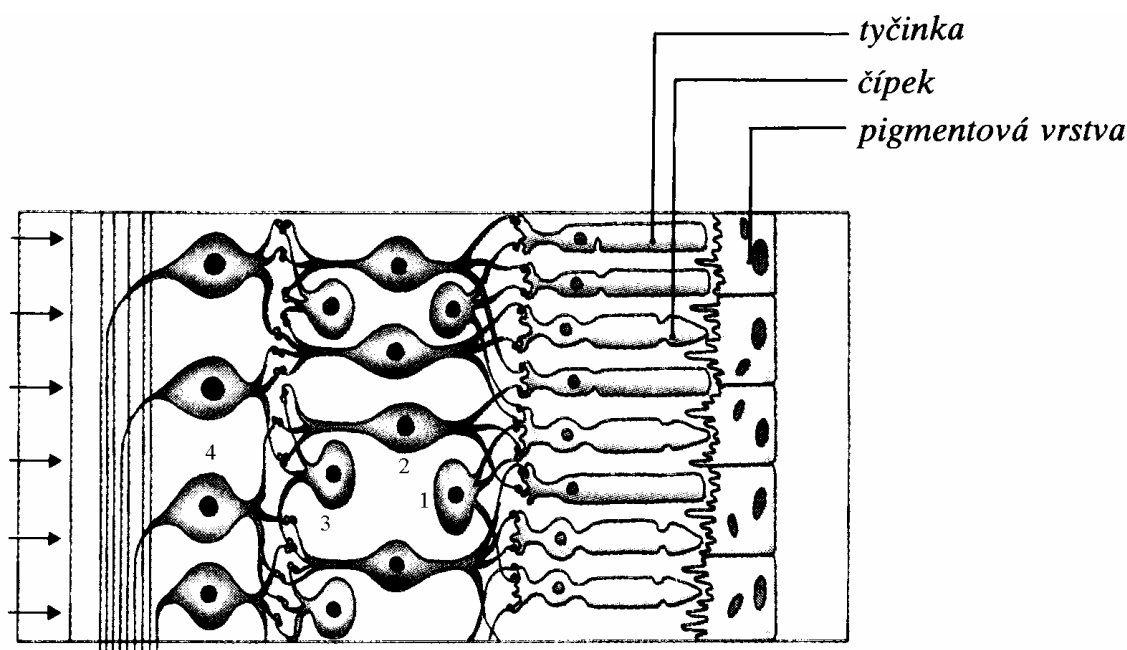
Stáří (v letech)	10	20	30	40	50	60
Akomodační vzdálenost(cm)	7,1	10,0	14,3	22,2	40,0	200,0

K přizpůsobení oka celkovému množství vstupujícího světla slouží duhovka. Je-li intenzita světla příliš velká, duhovka se stáhne a omezí tak množství světla vstupujícího do oka a naopak.[1,3]

## 4.1 Sítňice

Zatímco optická soustava oka slouží k vytvoření obrazu, pak síťnice slouží k převedení obrazu na elektrické vzruchy, které se šíří nervovými vlákny do mozku. Síťnice je velmi komplikovaná vnitřně organizovaná struktura buněk, čípků a tyčinek,

umístěná na zadní straně oka. Ze studií anatomie a vývoje oka vyplynul závěr, že sítnice je ve skutečnosti část mozku, která se v průběhu embryonálního vývoje vysune dopředu, přičemž se vyvinou nervová vlákna která spojují oko s mozem. Sítnice není ve všech místech stejnorodá a má v různých částech různou strukturu. Na obrázku 9 je schematicky znázorněn průřez sítnicí. Na okrajích sítnice je nejvíce tyčinek. V blízkosti středu sítnice se kromě tyčinek objevují buňky nazývané čípky. Čípky jsou světlocitlivé buňky zprostředkovávající barevné vidění. Uprostřed zorného pole je na sítnici žlutá skvrna obsahující pouze čípky. Žlutou skvrnu využíváme, chceme-li na něco přesně zaostřit. Všechny čípky ve žluté skvrně nejsou propojeny přímo s nervy přenášejícími informaci do mozku, ale některé jsou propojeny navzájem s okolními čípky. To znamená, že signál je částečně zpracováván již na sítnici oka a informace se do mozku dostávají již před zpracováním. Kromě žluté skvrny je na sítnici slepá skvrna, kde vycházejí z oka zrakové nervy a na níž nejsou žádné světlo citlivé prvky.[4]



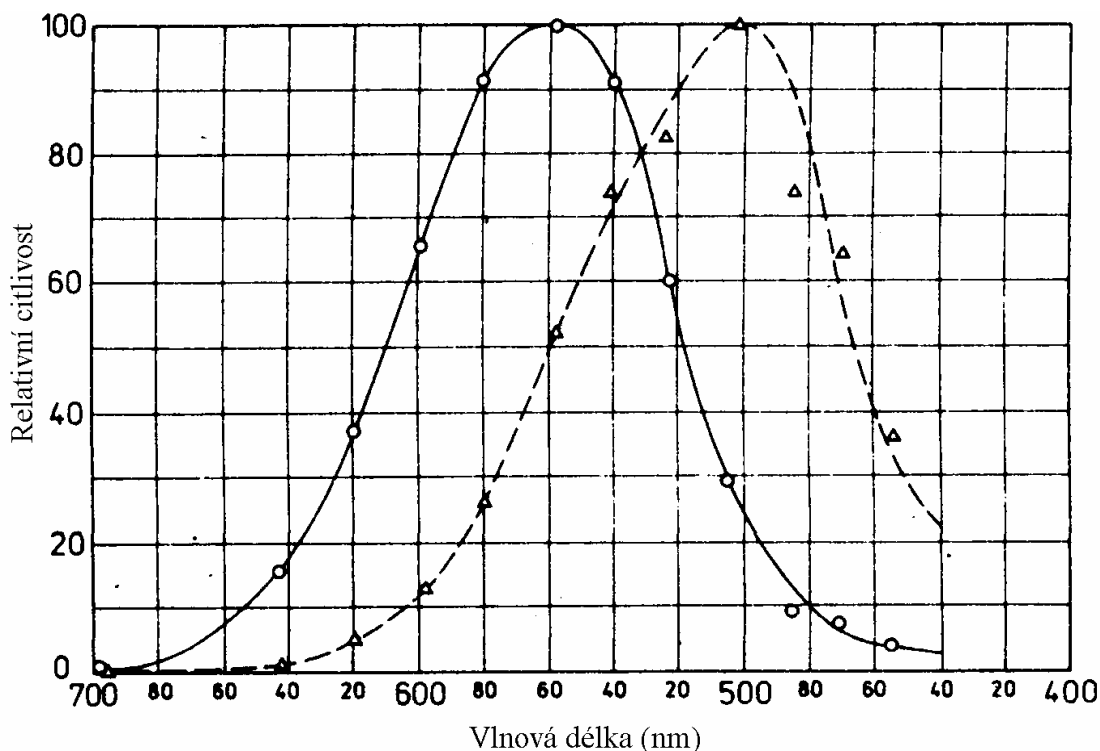
Obr.9 Struktura sítnice, světlo přichází z levé strany. 1- horizontální buňky, 2 – bipolární buňky, 3 – amakrinní buňky, 4 – gangliové buňky

Tyčinky a čípky jsou umístěny na vnější straně sítnice. Tudiž světlo dopadající na sítnici musí projít skrz sítnici než se dostane na světlo citlivé buňky. Elektrický signál vystupující z pigmentů sítnice musí před vstupem do mozku projít přes řadu dalších specializovaných buněk, kde je částečně zpracován. Tyčinky jsou specializované buňky umožňující vidění v případě slabé intenzity světla. Obsahují pigment rhodopsin, který vyvolává zrakový efekt. Tyčinky neobsahují pigmenty, které způsobují barevné vidění.[4]

## 4.2 Barva a intenzita světla

Nejzajímavější vlastnost oka je schopnost adaptace na změny intenzity. Přejdeme-li ze světla do tmy, chvíli nic nevidíme, ale po chvíli začneme rozlišovat předměty, které jsme před tím neviděli. Při velmi slabém osvětlení ztrácí věci svoji barvu. Schopnost vidět za tmy je zprostředkována tyčinkami, zatímco vidění v jasném světle je zprostředkováno čípkami.

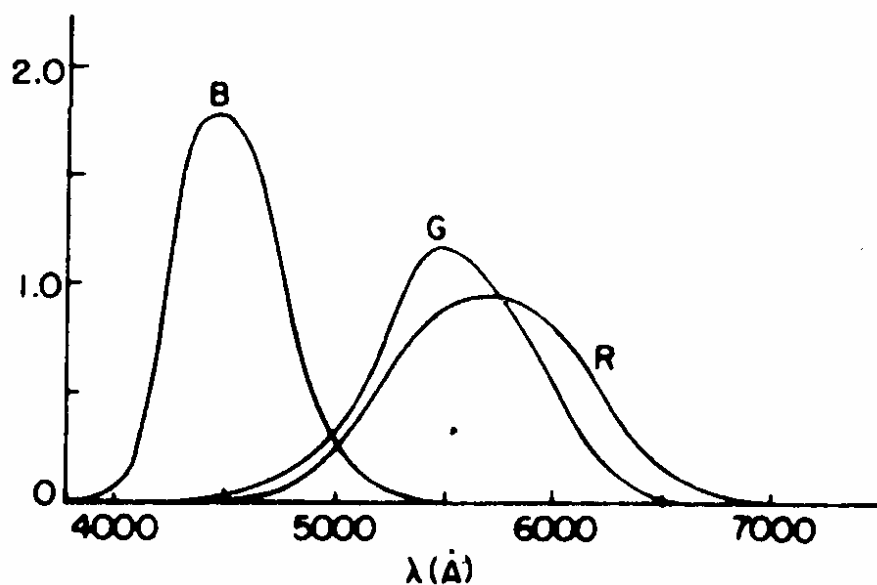
V jasném světle mají tyčinky velmi malou citlivost, ale ve tmě se s časem jejich schopnost vidět zvětšuje. Změny intenzity světla, na které je možno se adaptovat jsou v poměru větším než milión ku jedné. Schopnost vnímat světlo velmi rozdílných intenzit je tedy spojena s přechodem od buněk citlivých na jasné světlo a schopných vnímat barvu - čípků k buňkám citlivým na malé intenzity ale neschopných vnímat barvu - tyčinkám. Důsledkem je, že při přechodu od velké intenzity světla k malé se vytrácí barva předmětů a dále pak, že předměty různé barvy mají různý jas, což je spojeno s citlivostí tyčinek a čípků v různých částech spektra, Obr.10. [4]



Obr.10 Spektrální citlivost oka. Čárkovaná čára odpovídá tyčinkám, plná čára odpovídá čípkům.

Tyčinky jsou více citlivé na světlo v oblasti blíže k modré barvě, zatímco čípky jsou více citlivé na světlo z oblasti blíže k červené barvě. Tyčinky tedy nejsou schopné vnímat červené světlo, například světlo vlnové délky větší než 650 nm je pro tyčinky černé.

Další otázka souvisí s mechanismem barevného vidění. Barevné vidění je zprostředkováno pigmenty obsaženými v čípcích. Nejjednodušší teorie mechanismu barevného vidění předpokládá existenci tří různých pigmentů citlivých na světlo a s různými absorpčními spektry. Jeden pigment silně absorbuje v modré oblasti (*B*), druhý v zelené (*G*) a konečně třetí v červené (*R*) oblasti spektra. Když tyto tři pigmenty osvětlíme libovolným světlem, dojde v nich k rozdílné absorpci a tato informace je přenesena do mozku, kde je zpracována jako barevný vjem. Problémem dlouhou dobu bylo určení absorpčních křivek předpokládaných pigmentů. Nakonec se podařilo určit křivky, které jsou uvedeny na obrázku 11.[4]



Obr.11 Spektrální citlivosti barevných pigmentů lidského oka.

## 5 Barva v číslech

Předjeme nyní k vidění za jasného světla a k otázce barvy. Barva libovolného předmětu je náš individuální vjem. Světlo libovolné barvy dokážeme přesně analyzovat (optickým hranolem nebo mřížkou) a jednotlivým složkám přiřadit frekvenci a „váhu“ dané frekvence ve směsi. Z hlediska fyziky dokážeme tedy přesně vše určit, otázka však je jakou barvu budeme vnímat. Neboli se ptáme jaké spektrální charakteristiky způsobí daný barevný vjem, co je třeba udělat, abychom dostali danou barvu. Například lze dostat vybraný odstín zelené barvy pouze tím, že ji vybereme ze spektra nebo ji lze získat také smícháním jiných barev. Odpověď na uvedenou otázku bychom našli jednoduchým experimentem s projektory jejichž jas je možné spojitě měnit a které jsou vybaveny barevnými filtry. Například, smícháním určitého množství světla ( $r$ ) červené



barvy ( $R$ ) a určitého množství světla ( $g$ ) zelené barvy ( $G$ ) dostaneme barvu žlutou ( $Y$ ), rovnice (8)

$$Y = rR + gG \quad [8]$$

Z experimentu s barevnými filtry dále vyplývá, že stejná barva může mít různé spektrální složení. Například stejný odstín žluté barvy můžeme vytvořit z libovolné zelené a červené barvy, avšak množství obou barev se budou lišit.

K tomu, abychom dokázali vytvořit libovolnou barvu spektra jsou dvě barvy, červená a zelená, málo a je třeba přidat ještě barvu modrou.

Při experimentech s mícháním barev vyzkoušíme platnost několika zajímavých principů. První z nich říká: Máme-li libovolné barevné světlo  $X$ , které je pro oko nerozlišitelné od světla  $Y$ , pak tato světla nazýváme stejnými, v tom smyslu, že oko je vnímá jako stejná, což symbolicky zapíšeme vztahem (9).

$$X = Y \quad [9]$$

Obě světla  $X$  a  $Y$  přitom mohou mít jiné spektrální složení, ale jeví se nám jako stejná. Druhý z principů míchání barev říká: Máme-li dvě spektrálně nerozlišitelná světla  $X$  a  $Y$  a ke každému z nich přidáme světlo  $Z$ , pak jsou opět navzájem nerozlišitelná. Přidání světla zapíšeme  $X + Z$  ( $Y + Z$ ) a znamená, že obě světla svítí na jedno stejné místo. Nerozlišitelnost nově vzniklých barev zapíšeme rovnicí (10).

$$X + Z = Y + Z \quad [10]$$

Konečně poslední princip týkající se míchání barev říká, že jakoukoliv barvu lze vytvořit ze tří různých barev, v našem případě modré, zelené a červené. Jejich smísením ve vhodném poměru můžeme vytvořit požadovanou barvu. Předpokládejme, že máme tři barvy  $A$ ,  $B$  a  $C$  a chceme získat barvu  $X$ , pak použijeme-li množství  $a$  barvy  $A$ ,  $b$  barvy  $B$  a  $c$  barvy  $C$  dostaneme požadovanou barvu  $X$ , matematicky tento postup zapíšeme rovnicí (11).

$$X = aA + bB + cC \quad [11]$$

Mějme nyní světlo  $Y$ , které jsme získali složením barev  $A$ ,  $B$  a  $C$ , ale v jiných poměrech  $a'$ ,  $b'$  a  $c'$  podle rovnice (12)

$$Y = a'A + b'B + c'C \quad [12]$$

Nyní se můžeme ptát, jaká množství všech tří barev budeme potřebovat, chceme-li získat barvu vzniklou smícháním barev  $X$  a  $Y$ . Ukazuje se, že barvu  $Z = X + Y$  dostaneme tak, že sečteme složky u odpovídajících barev podle vztahu (13).

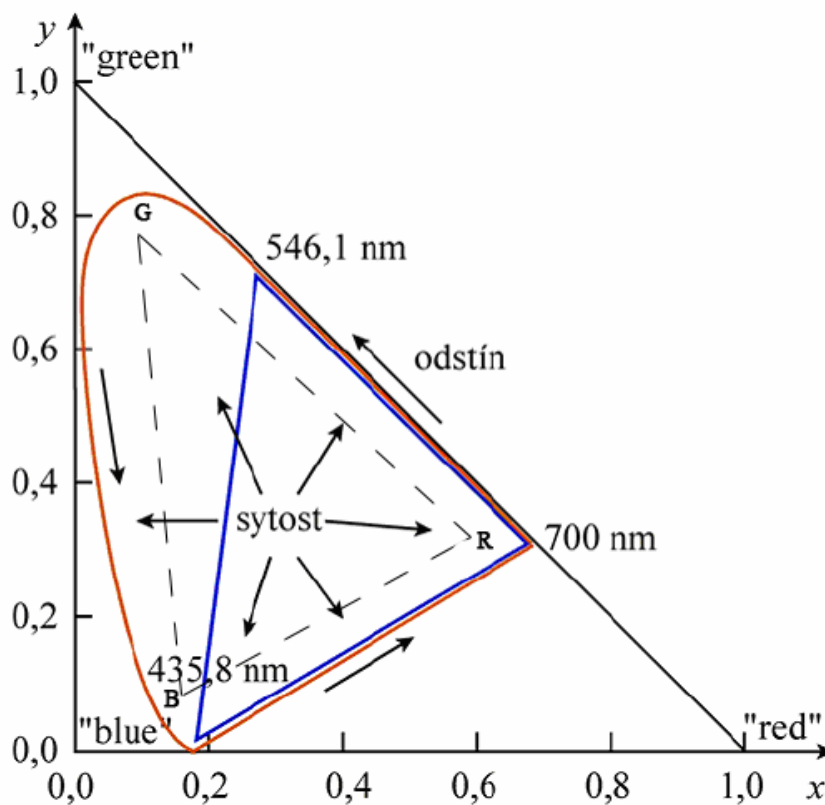
$$Z = X + Y = (a + a')A + (b + b')B + (c + c')C \quad [13]$$

V souvislosti s uvedenými principy vzniká otázka, zda existují tři základní barvy, z nichž bychom mohli složit libovolnou barvu pomocí kladných složek podle rovnice (11). Odpověď je, že ne. Například smícháním červené, modré a žluté barvy dostaneme řadu různých barev, mezi nimiž však nebude zelená. Budeme-li experimentovat s mícháním různých barev, zjistíme, že největší spektrum barev dostaneme z červené, zelené a modré barvy.[4]

## 5.1 Diagram chromatičnosti

Na rovnici (11) se můžeme dívat jako na sčítání vektorů, kde složky vektoru jsou  $a$ ,  $b$  a  $c$ . Tedy jedné kombinaci barev přísluší bod v prostoru, jehož poloha je určena složkami  $a$ ,  $b$  a  $c$  vnesenými na jednotlivé osy. Jiné barvě pak odpovídá jiný bod. Smíšením těchto dvou barev dostaneme ve shodě s rovnicí (13) barvu, která je vektorovým součtem obou barev. Názornější obrázek získáme, zredukujeme-li všechno

na stejnou intenzitu, to znamená, že koeficienty změníme ve stejném poměru, tím zachováme barvu, ale barva bude méně jasnější. Pak můžeme použít projekce na rovinu a vytvořit tak diagram chromatičnosti(barevnosti), Obr.12. Z uvedeného diagramu vyplývá, že libovolná barva, kterou získáme smícháním dvou barev v libovolném poměru bude ležet někde na spojnici obou barev. Například barva kterou získáme smícháním zelené ( $G$ ) a modré ( $B$ ) bude ležet na čárkované čáře  $B G$ . Vezmeme-li za základ modrou ( $B$ ), zelenou ( $G$ ) a červenou ( $R$ ) pak všechny barvy, které z nich vytvoříme leží uvnitř trojúhelníku  $BGR$ . Všechny možné viditelné barvy leží uvnitř oblasti ohraničené křivkou na obrázku 12.[4]

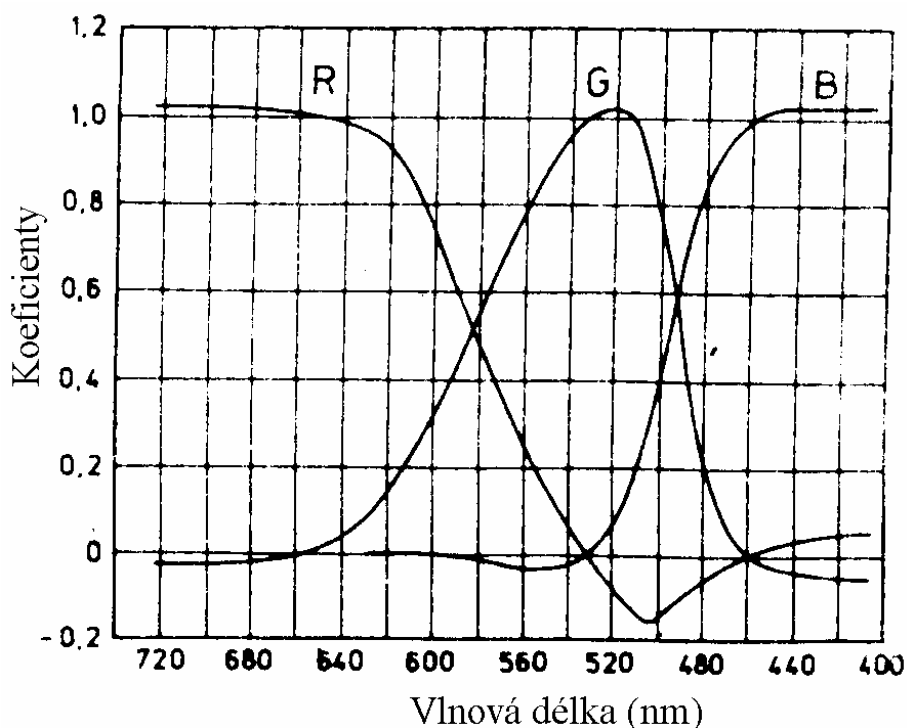


Obr.12 Diagram barevnosti

Libovolné světlo můžeme považovat za součet různých kladných příspěvků různých fyzikálně čistých spektrálních barev. Dané světlo bude obsahovat určité množství spektrálně čistých barev-červené, žluté, modré , atd. Vybereme-li si nyní primární barvy pak víme-li, kolik je třeba každé primární barvy k vytvoření čistých

složek, můžeme vypočítat, kolik je jí třeba k vytvoření dané barvy. Najdeme-li tedy barevné koeficienty všech spektrálních barev pro libovolně dané tři primární barvy, můžeme sestavit celou tabulku míchání barev.

Příkladem takového míchání barev je obrázek 13, kde je vidět, jaká množství každé ze tří různých primárních barev, červené, zelené a modré je třeba k vytvoření všech spektrálních barev.



Obr.13: Barevné koeficienty pro čisté spektrální barvy vyjádřené určitou sadou primárních barev. R – červená, G-zelená, B-modrá

Na základě takovýchto údajů je pak možné najít polohy všech barev na diagramu na Obr.12, na němž osy  $x$  a  $y$  souvisí s množstvím různých primárních barev. Takto byla nalezena křivka ohraničující oblast barev na Obr. 12. Tato křivka odpovídá čistým spektrálním čarám. Uvnitř oblasti ohraničené křivkou jsou existující barvy, mimo ni pak barvy, které nelze vytvořit pomocí existujících světél.[4]

## 6 Skládání barev

Díky poznatku o trichromatické(RGB) struktuře sítnice oka, můžeme využívat tohoto principu u přístrojů sloužících k zaznamenávání nebo k reprodukování barevného obrazu, jako jsou fotoaparáty, skenery, tiskárny, monitory a další zařízení. Tato zařízení fungují tedy na principu aditivního míchání barev(RGB) a tiskárny na principu subtraktivního míchání barev(CMYK), které vychází z poznatků o schopnosti člověka vnímat protikladné barvy.

- **Aditivní míchání barev-** vyberete-li si tři zdroje světla s překrývajícími se spektry tak, aby celé viditelné spektrum bylo rozděleno zhruba na třetiny, pak každý z těchto zdrojů přidá do výsledného světla vlnové délky, na které bude reagovat jeden či více typů receptorů. A pokud rozdělíte celé viditelné spektrum na přibližně stejné třetiny, získáte tři zdroje světla, které budete moci nazvat červeným, zeleným a modrým světlem. Začnete-li poté od černé(žádné světlo), pak pomocí těchto tří světél budete do výsledného světla přidávat(angl. add a proto přidávat) jednotlivé vlnové délky tak dlouho, dokud nezískáte bílé světlo.
- **Subtraktivní míchání barev-** namísto přidávání jednotlivých vlnových délek k černé vychází tento barevný model z odečítání(filterování) vlnových délek z bílého světla. Jinými slovy řečeno, pojem azurový inkoust je pouhým označením dlouhovlnného filtru nebo též červeného filtru- takový inkoust totiž z bílého světla filtruje světlo o dlouhých vlnových délkách, tj. odstíny červené. Podobně pak funguje purpurový nebo žlutý inkoust.

Z toho všeho vyplývá, že jak aditivní tak subtraktivní základní barvy fungují vlastně tak, že nějakým způsobem ovlivňují či upravují vlnové délky světla vstupujících do našeho oka a vyvolávají barevné vjemy v receptorech. A pokud je tato úprava

provedena správně, jsou receptory stimulovány právě tak, jako kdyby do našeho oka dopadalo světlo dané barvy.[1]

## **7 Barevné prostory**

Tři základní barvy nám umožňují nejenom vytvořit jakékoliv barvy smícháním určitých množství barev základních, ale s jejich pomocí si můžeme vykreslit vzájemné vztahy mezi barvami. Modely, které jsou v současnosti dostupné, nejsou zdaleka dokonalé. Lze však říci, že díky práci CIE jsou natolik robustní, že na jejich základě bylo možné vystavět všechny současné systémy pro správu barev.[1]

- CIE – mezinárodní komise pro osvětlování(CIE – Commission Internationale de l’Eclairage), tvořená vědci a technologi z celého světa, zabývající se barvami. Od 20.let dvacátého století shromáždila obrovské množství znalostí o barvách a na jejich základě definovala Kolorimetrický systém CIE.[1]

## **8 Kolorimetrický systém**

Současná kolorimetrie a prakticky všechny soudobé systémy pro správu barev vycházejí z kolorimetrického systému CIE. Systém se skládá z několika klíčových prvků[1]:

## 8.1 Standardní svítidla

Jedná se vlastně o definice spektrálních charakteristik sady světelných zdrojů, se kterými při správě barev a hledání barevných shod nejčastěji pracujeme. Pro grafiku jsou nejdůležitější svítidla  $D_{50}$  a  $D_{65}$ , kde spodní číselný index označuje teplotu chromatičnosti, konkrétně  $5.000^{\circ}\text{K}$  a  $6.500^{\circ}\text{K}$ , což odpovídá dvěma kvalitám denního světla.[1]

## 8.2 Standardní pozorovatel

představuje úplnou tristimulační reakci běžného lidského pozorovatele. Jinými slovy řečeno, představuje sadu všech těch barev, které jsme schopni vidět. Většina kolorimetrů je založena na pozorovateli  $2^{\circ}$ , definovaném roku 1931; existuje však i standardní pozorovatel  $10^{\circ}$  z roku 1964. Novější pozorovatel byl vytvořen jako reakce na experimenty, při nichž byly použity větší barevné vzorky, osvětlující větší část sítnice. V důsledku toho se tristimulace poněkud odlišovala od té, která byla použita jako základ pro definici pozorovatele  $2^{\circ}$ . S pozorovatelem  $10^{\circ}$  se však setkáte jen zřídka.[1]

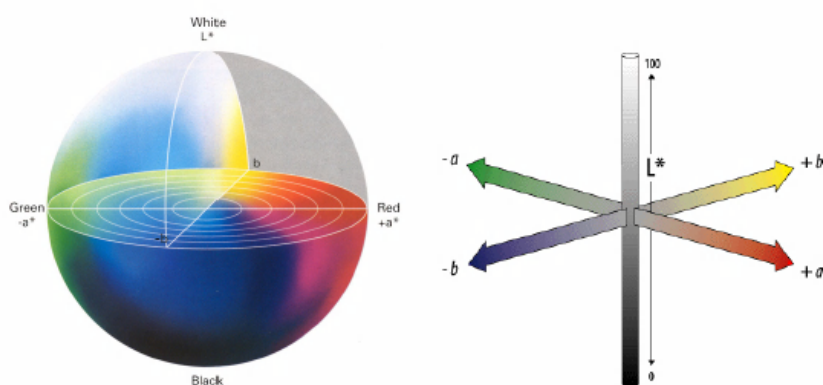
## 8.3 kolorimetrický prostor CIE XYZ

Je poměrně dobrou definicí tří imaginárních základních barev, odvozených od tristimulační reakce standardního pozorovatele. (Základní barvy jsou označeny za imaginární proto, že neodpovídají žádnému reálnému zdroji světla - je totiž prakticky nemožné vytvořit takový zdroj světla, který by stimuloval pouze jeden druh čípků -, avšak reakce, která je s jejich pomocí modelována, je velmi realistická.) Nejen že každá metamerní dvojice odpovídá

shodným hodnotám XYZ, ale současně základní barva Y má dokonce dvojnásobný význam, neboť udává i průměrné osvětlení čípků. Z toho vyplývá, že hodnota Y každé barvy je také jejím jasnem.[1]

## 8.4 Jednotné barevné prostory(LAB, LUV)

představují dva barevné prostory, které komise CIE vytvořila ve snaze o zmenšení zkreslení barevných vzdáleností. V obou prostorech se hodnota světlosti  $L^*$  počítá naprosto stejným způsobem - přibližně se jedná o třetí odmocninu hodnoty jasu Y (získá se tak hodnota, která zhruba odpovídá logaritmické reakci našeho oka na jas). Oba prostory se také snaží o vytvoření prostoru jednotného z hlediska vnímání - jinými slovy řečeno, vzdálenosti mezi body prostoru by měly odpovídat míře odlišnosti, s jakou bude dané dvě barvy vnímat lidský pozorovatel. Z tohoto důvodu mají oba prostory vlastnosti napodobující odstín, sytost a jas. V případě prostoru LAB navíc platí, že se snaží modelovat i systém vnímání barevných protikladů, typický pro člověka. Ve většině praktických aplikací prostor LAB nahradil prostor LUV, a to i přesto, že rozhodně není dokonalý (například příliš zvýrazňuje rozdíly mezi odstíny žluté a naopak zmenšuje rozdíly mezi odstíny modré).. [1]



Obr.14 CIE Lab



## 9 Color Management

Tento dnes již vžitý odborný výraz je převzat z angličtiny. Color Management System, někdy uváděn pouze zkratkou CMS, se dá přeložit jako „management řízení barev“ nebo poněkud výstižněji „správa barev“ nebo „systém řízení barev“. Pod tímto doposud málo srozumitelným pojmem se ukrývá systém, který je schopen zajistit tzv. barevnou shodu, lépe řečeno barevnou shodu finálního tisku s originální předlohou. CMS představuje ucelený systém, který řídí práci s barvami na veškerých periferiích, které jsou potřebné pro přenos obrazu z originálu až na finální výtisk v tiskovém stroji. Každá jednotlivá periferie musí být tedy samostatně řízena jakýmsi centrálním nástrojem, který umí zabezpečit přesnou a bezchybnou práci s barvami a optimální konverzi mezi barevnými modely RGB a CMYK.

Tato problematika je poměrně velmi široká, a proto se budeme postupně seznamovat s jejími jednotlivými částmi.[5]

### 9.1 Měření barvy

Klademe-li důraz na objektivitu měření barev, nemůžeme již v praxi vystačit s měřením pomocí denzitometru, neboť ten o barvách v podstatě nevypovídá nic konkrétního. S ním se jistě spokojíme, měříme-li denzitu barvy, nárůst tiskového bodu či přetisk. Parametry konkrétní barvy však již jsou mimo jeho možnosti. Zde nastupují přístroje jiné kategorie - kolorimetry a zejména spektrální fotometry, také ale spektrodenzitometry, spojující výhody obou přístrojů v jednom. Výsledkem měření barvy pomocí spektrálního fotometru je tzv. remisní křivka a matematické vyjádření barvy v prostoru CIE Lab. Změříme například hodnotu kontrolního políčka magenta denzitometrem a dostáváme hodnotu  $D = 1,40$ . O barevné „kvalitě“ barvy však tento údaj nevypovídá. Při měření stejného políčka spektrálním fotometrem dostáváme konkrétní parametry této barvy a výsledek  $L = 51,13$ ;  $a = + 48,88$ ;  $b = + 29,53$ . Toto

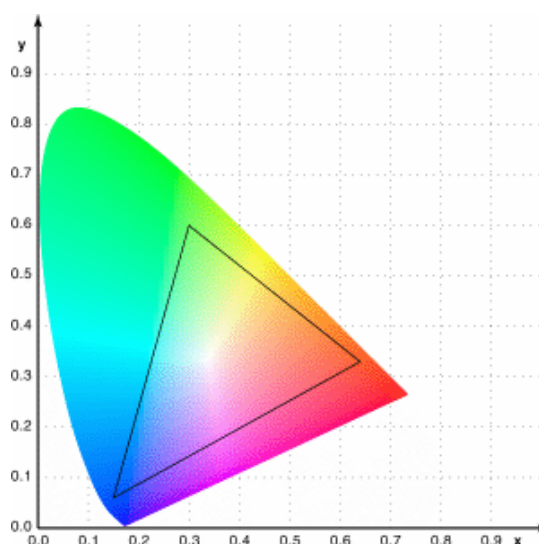
Jsou právě konkrétní hledané souřadnice barvy v třírozměrném barevném prostoru CIE Lab. Barvu tedy nejlépe a nejpřesněji definujeme pomocí spektrálních dat.[1]

## 9.2 Gamut

O barvových možnostech periferií vypovídá tzv. **gamut**. Gamutem je myšlena škála barev, která může být interpretována (generována) konkrétním zařízením - periferií. Je to **barevný rozsah** všech viděných a zobrazovaných barev. Gamut se zakresluje do chromatického diagramu a graficky znázorňuje barevný rozsah zařízení.

Zjednodušeně platí, že barvy v přírodě mají nekonečné množství barevných variant. Barevný rozsah fotografie nebo diapozitivu je již nižší, skener v prostoru RGB má opět nižší barevný rozsah a výsledek reprodukováný tiskových strojem v prostoru CMYK je výrazně barevně nejchudší.

Pro lepší představu slouží zobrazení těchto barevných rozsahů (gamutů) pomocí tzv. chromatického diagramu CIE K těmto poznatkům se dále přidružuje skutečnost, že jednotlivé barevné prostory nejsou schopny reprodukovat všechny barvy a výsledky jejich transformace (barevných převodů) jsou více či méně zkreslené.[5]



Obr.15: Gamut vyznačený černou barvou v diagramu chromatičnosti.

Barevné prostory RGB a CMYK si v definování barev a v jejich transformaci příliš nerozumí. V praxi se uplatňují přepočty mezi barevnými gamuty vstupních a výstupních zařízení. Vychází se z všeobecné skutečnosti, že ve většině případů jsou barevné gamuty vstupních zařízení podstatně větší (širší) než výstupní.

## 9.3 Transformace gamutů

Aby nedošlo k nechtěné a viditelné redukci (ořezání) barev, uplatňují se v praxi tři odlišné způsoby transformace gamutů (**CMM - Color Matching Method**):

- a) **perceptuální (fotografická) transformace**, používaná pro fotografii, umožňuje přepočet všech barev vstupního souboru dovnitř gamutu výstupního zařízení, způsob zabraňuje ztrátám detailů a uplatňuje se proto při separaci RGB/CMYK,
- b) **relativní kolorimetrická transformace** umožňuje přepočet mimogamutových barev dovnitř gamutu za cenu náhrady několika barev na vstupu jednou barvou na výstupu. Tento způsob nachází uplatnění u vektorových kreseb a při digitálním nátisku,
- c) **absolutní kolorimetrická transformace** umožňuje přepočet barev uvnitř obou gamutů nezměněně, barvy mimogamutové umístí na okraj gamutu výstupního zařízení, uplatňuje se podobně jako předchozí způsob a při nátiskových simulacích.

Jinou cestou, vedoucí k nápravě těchto barevných deformací a zejména způsobem, jak zvýšit barevný rozsah je použití technologie HiFi Color. Jedná se o zvýšení počtu tzv. výtazkových barev již při reprodukci předlohy a použití tohoto vyššího počtu barev při tisku v tiskovém stroji. Mezi různými řešeními tohoto problému stojí za zmínku systém Eder MCS (barvy CMYK + barvy RGB, případně i další barva), systém HyperColor (kombinace klasických výtazků a dominující barvy z okruhu CMY ve 100%) a zejména dnes relativně nejrozšířenější systém firmy Pantone s názvem Hexachrome (CMYK + zelená a oranžová). Tyto nové

technologie však zatím nezaznamenaly větší rozšíření, což je také dáno vyšší cenou pro zákazníka.[1,5]

## 10 ICC profil

ICC profil je základním stavebním kamenem současného pojetí Color Managementu. Zkratka ICC vznikla z názvu International Color Consortium, což je mezinárodně působící organizace, která se zabývá především standardizací digitální barevné reprodukce. Členy tohoto konsorcia jsou takové firmy, jako Adobe, Agfa, Apple, Kodak, FOGRA, Microsoft, Silicon Graphic, Sun, Barco, Crossfield, Gretag, Linotype-Hell, Pantone, Polaroid, Scitex, X-Rite a mnoho dalších.

ICC profil je speciálně vytvořený algoritmus, který velmi přesně popisuje barevné chování toho zařízení, ať je to scanner, monitor, tiskárna, digitální fotopřístroj nebo dokonce tiskový stroj ve vztahu k nezávislému barvovému prostoru, kterým je CIE Lab. Zjednodušeně tento algoritmus dovede upravit (přepočítat) barevné chování přístroje, které není dokonalé, do optimálního stavu, který určuje nezávislý barvový prostor CIE Lab. Přepočítané hodnoty vstupují do výstupního zařízení.

ICC profil obsahuje informace o třech základních proměnných popisující chování zařízení:

- Gamut - barva a jas základních barev
- Dynamický rozsah - barva a jas bílého a černého bodu
- Charakteristiky reprodukce tónů barviv

Některé druhy profilů mohou obsahovat ještě nějaké dodatečné informace, ke kterým mohou patřit např. instrukce pro zpracování barev nacházejících se mimo gamut, podrobnější informace o reprodukci tónů či určité skryté součásti, které mohou být využity pouze při práci s jistým modulem CMM.[1,5]

## 10.1 Třídy profilů

Existuje několik základních druhů profilů:

- vstupní profily skenerů a fotoaparátů
- profily monitorů a LCD displejů
- výstupní profily tiskáren

Faktorem rozlišující tyto tři druhy profilů, je to, jedná-li se o profil jednosměrný nebo obousměrný. Tedy, zda daný profil umožňuje systému pro správu barev provedení konverze z prostoru zařízení do prostoru PCS a z prostoru PCS do prostoru zařízení. Vstupní profily musí obvykle definovat pouze konverzi z barevného prostoru vstupního zařízení do prostoru PCS. Platí totiž, že na skeneru či digitálním fotoaparátu si většinou nemůžete prohlížet obrazy z počítače či je na takovém zařízení reprodukovat. Z toho vyplývá, že v případě těchto zařízení není nutné provádět konverzi z prostoru PCS do prostoru zařízení. Vstupní profily systému pro správu barev pouze sdělují, jak by lidé vnímali barvu, kterou dané zařízení zachytilo.

Je také zřejmé, že profily monitoru musí být obousměrné, neboť monitor vykonává funkci jak vstupního, tak i výstupního zařízení. Vytvoříte-li či upravíte-li nějakou barvu na základě jejího vzhledu na monitoru, použijete vlastně monitor jako vstupní zařízení; systém pro správu barev musí být schopen zjistit, jakou barvu na monitoru vidíte, aby ji mohl reprodukovat na tiskárně, tiskovém stroji či jiném monitoru. Systém pro správu barev se podívá na hodnoty RGB zobrazené na monitoru a s pomocí profilu vypočítá skutečnou barvu, kterou tyto hodnoty představují. Pokud si pak na monitoru prohlížíte nějaký obraz, stává se monitor výstupním zařízením; systém pro správu barev vyhodnotí profil vložený do obrazu, aby zjistil, jaké skutečné barvy jsou reprezentovány jednotlivými čísly v souboru. Poté využije profil monitoru k výpočtu těch RGB hodnot, které by měly zajistit

přesné zobrazení těchto barev.

Výstupní profily jsou také vždy obousměrné. Používáme je totiž nejen při tisku pro převod z prostoru PCS do barevného prostoru výstupního zařízení, ale také při prohlížení souborů převedených již do prostoru výstupního zařízení. Kromě toho se může stát, že budeme potřebovat převést tiskový CMYK obraz do prostoru jiného zařízení, na kterém chceme tisknout obtah. Zobrazíte-li si CMYK obraz na svém RGB monitoru, systém pro správu barev předpokládá, že ve výstupním profilu daného CMYK zařízení najde informace, potřebné pro zpětný převod do prostoru PCS. Teprve poté je proveden převod do prostoru monitoru. [1]

## 10.2 Vytváření ICC profilu

Celý proces vytváření profilů si můžete snadno znázornit pomocí stimulů a následných reakcí na tyto stimuly.

V případě zobrazovacích zařízení je do zařízení odeslán stimul v podobě známých RGB hodnot. Následně je změřena barva, kterou na základě tohoto stimulu dané zařízení zobrazí. Měření jsou prováděna přístroji snímajícími hodnoty prostoru PCS (CIE XYZ či CIE LAB). Poté je vytvořen profil, v němž jsou uvedeny do souladu hodnoty RGB a jim odpovídající hodnoty prostoru PCS. Díky tomu může profil systému pro správu barev říci, jaká skutečná barva bude zobrazena, budou-li do zařízení odeslány určité hodnoty RGB. Současně ale modul CMM může z profilu zjistit, jaké hodnoty RGB jsou potřebné pro zobrazení požadované barvy

V případě výstupních zařízení, mezi něž patří např. tiskárny, odesílá tvůrce profilu do tiskárny známé hodnoty RGB či CMYK a opět měří vytištěný výstup. I v tomto případě pak vytváří profil, definující vazbu mezi stimulem a reakcí. Systém pro správu barev pak na základě takového profilu dokáže říci, jaká skutečná barva bude vytištěna po odeslání určité sady hodnot RGB či CMYK do tiskárny. Podobným způsobem je systém pro správu barev schopen určit i hodnoty RGB či CMYK, potřebné pro vytištění požadované barvy

Pokud se týká takových vstupních zařízení, jakými jsou např. skenery, pak u nich se celý proces liší tím, že veškerá měření jsou již provedena výrobcem. Stimulem v tomto případě bývá skenovací cíl, který je buď součástí dodávky systému pro vytváření profilů anebo jej lze zakoupit u nezávislého dodavatele. Tyto skenovací cíle jsou vždy dodávány s datovým souborem, v němž jsou uvedeny CIE LAB či CIE XYZ hodnoty vzorků barev. Poté musíte cíl naskenovat a získaná data spolu s původním datovým souborem předat systému pro vytváření profilů. Ten porovná RGB hodnoty v naskenovaných datech s CIE

LAB či CIE XYZ hodnotami vzorového souboru a vytvoří profil, který systému pro správu barev říká, jak daný skener vnímá barvy.[1]

## 10.3 Nástroje pro kalibraci

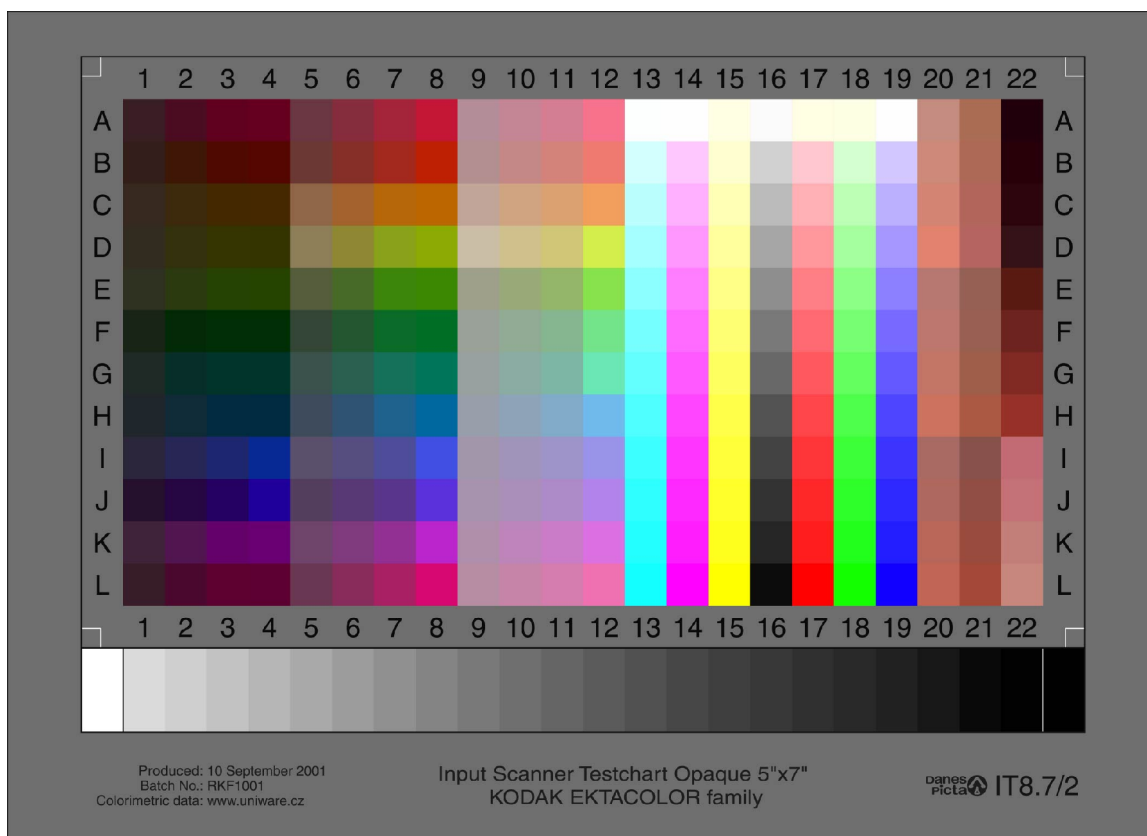
ICC profil lze získat v podstatě dvojím způsobem. Buď již při dodávce zařízení, kdy součástí této dodávky může být i příslušný ICC profil zařízení, případně je možné jej dokoupit či stáhnout z Internetu. Optimálním řešením je však druhá možnost, i když je cenově i časově značně náročnější, měřit a generovat ICC profil pro své konkrétní zařízení za pomoci speciálního software. Pro každý typ zařízení platí poněkud odlišný postup.

Výpočet profilů je často složitá, časově náročná matematická operace. Z tohoto důvodu slouží k vytváření profilů speciální aplikace, která vytváří matematický model mezi vstupními (RGB nebo CMYK) a CIE Lab nebo CIE XYZ. Programy pro správu barev jsou většinou koncipovány tak, aby prostředí programu bylo intuitivní a uživatel prováděl co nejmenší počet úkonů. Tak je minimalizován vznik chyb vlivem lidského faktoru.[5]

## 10.4 Skener

**ICC profil pro scanner** je generován pomocí měřicího obrazce, který obsahuje řadu přesně definovaných barevných hodnot. Jako standard se uvádí měřicí obrazec IT8.7 (Obr.16). Tento obrazec je dodáván jak v podobě odrazové, tak i průsvitové. Po provedení skenu přepočítá software barevné hodnoty do prostoru CIELAB. Vzhledem k předem známým a přesně definovaným hodnotám barev na měřicím obrazci se jedná o matematický převod, jehož výsledkem je vygenerovaný ICC profil scanneru.





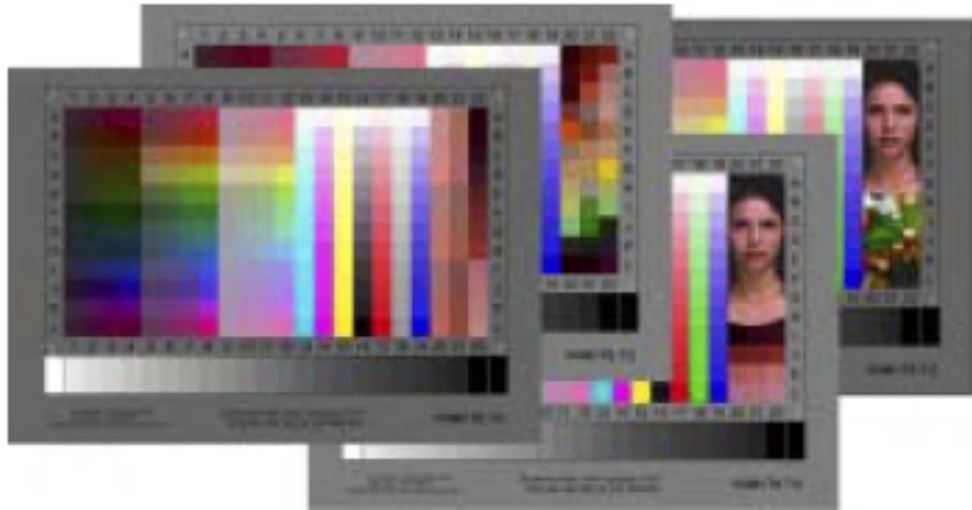
Obr.16: Měřicí obrazec IT8.7/2 od Kodaku.

Parametry tabulek IT8.7 jsou definovány normou iso 12641. Základem normy jsou dříve vyvinuté tabulky Kodak Q-60. Tabulky IT8.7 vyrábějí především výrobci fotografických materiálů (Kodak, Fuji, Agfa), kteří na tabulkách definují barevný rozsah svých materiálů. Každá ze jmenovaných firem navíc používá jiný "formát" . tedy obsah posledních tří sloupců tabulky. Ostatní výrobci tabulek, např.Corel, na základě norem a originálních tabulek foto-výrobců vyrábějí tabulky na libovolném materiálu v libovolném (i vlastním) formátu. Typ materiálu musí být na tabulce vyznačen. Nutnou součástí tabulek IT8.7 jsou kolorimetrická data pro výpočet ICC profilů. Dodávané typy tabulek IT8.7 zahrnují tři "formáty"(Obr.17):

- Uniware (formát Fuji s více evropskými pleťovkami)
- Kodak (vpravo s portrétem a pleťovými tóny)
- Agfa (s pestrými barvami)

Tyto typy dále zahrnují tři "verze":

- verzi odraznou velikosti 5"x7" (přibližně 13x18 cm)
- verzi průsvitovou základní velikost 4"x5" (přibližně 10x13 cm)
- verzi průsvitovou zmenšenou do pole diapozitivu 35mm filmu (24x36mm)



Obr.17: Některé typy měřících obrazců..

Pro profesionální použití v pre-pressu je nutno aplikovat pouze "velké" verze tabulek (odraz, průsvit 4"x5"). Jejich kolorimetrické parametry jsou měřeny přímo spektrofotometrem a data jsou přesná. Pro použití v amatérské digitální fotografii a pro kancelářské aplikace postačí průsvitové tabulky malé, rozměru políčka 35mm filmu.[1,2]

## 10.5 Monitor

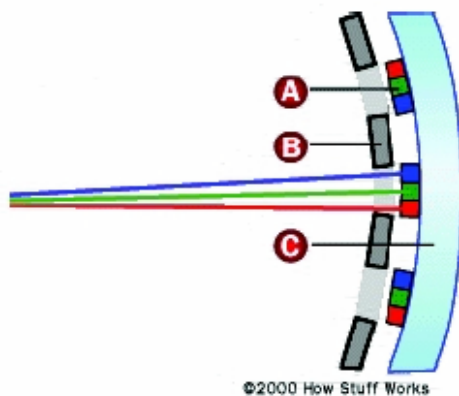
Z hlediska správy barev má monitor zvláštní postavení – jednak plní funkci jak vstupního tak výstupního zařízení a dále zde nelze vymezit přesné hranice mezi kalibrací a charakterizací zařízení. V případě monitoru je totiž kalibrace a

charakterizace prováděna současně. Neplatí zde pravidlo, že profil (charakterizace) pouze popisuje, ale nemění chování daného zařízení. Pokud tedy změníte aktuální profil, změní se barevné podání monitoru. Navíc se neprovádí kalibrace a charakterizace samotného monitoru, ale celého zobrazovacího systému – tj. monitoru, grafické karty včetně jejího ovladače. Výsledky kalibrace se liší v závislosti na typu zařízení a použité metodice charakterizace.

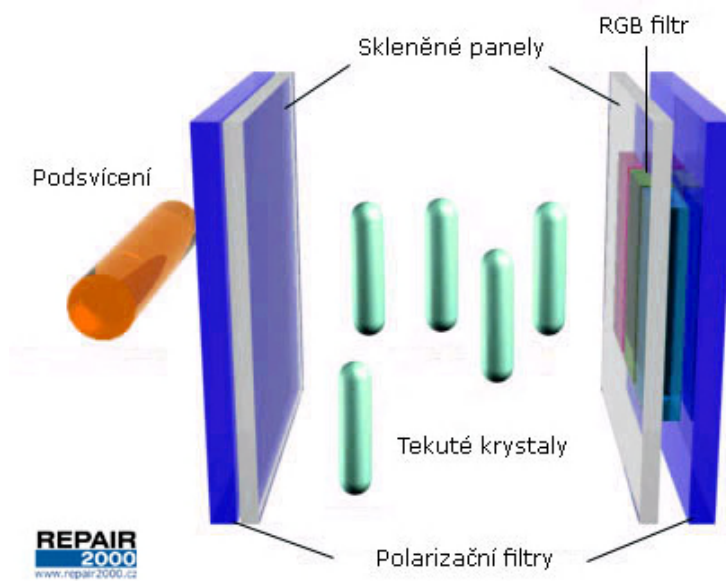
### 10.5.1 Typy zobrazovacích zařízení

- **CRT** (catode ray tube) - Základem CRT monitoru je trojice katod, tzv. elektronových děl, které emitují elektrony. Emitované elektrony procházejí sadou elektromagnetických čoček, které upravují jejich rychlost a dráhu a dopadají na luminofor (A). Protože záporně nabitě elektrony mají tendenci se navzájem odpuzovat, je těsně před stínítkem obrazovky umístěna tzv. maska (B), která má zabránit, aby nebyl ozářen více jak jeden bod daného luminoforu.
- **LCD** (liquid crystal display) - Základ obrazu zde není tvořen zářením z katodových trubic jako u CRT. „Zářičem“ je zde fluorescentní svítící trubice po straně displaye (může jich být 1-4). Z nich se světlo rozvede pomocí světlovodivého panelu rovnoměrně přes celou obrazovku. Fotony postupují přes polarizační filtr, vrstvu s tekutými krystaly a další polarizační filtr. Vrstvy polarizačního filtru jsou orientovány stejně jako jsou natočeny drážkované destičky u vrstvy LCD. Světlo při průchodu přes polarizační filtr změni svůj charakter. Přes první filtr totiž projdou jen rovnoběžné vlny. Struktura tekutých krystalů dále světlo natočí tak, že projde i přes druhý polarizační filtr, který je vůči prvnímu otočen o 90°. Normálně by světlo při průchodu dvou polarizačních

vrstev vzájemně potočených o 90° neprocházel, ale vše funguje právě díky vrstvě z tekutých krystalů.[2]



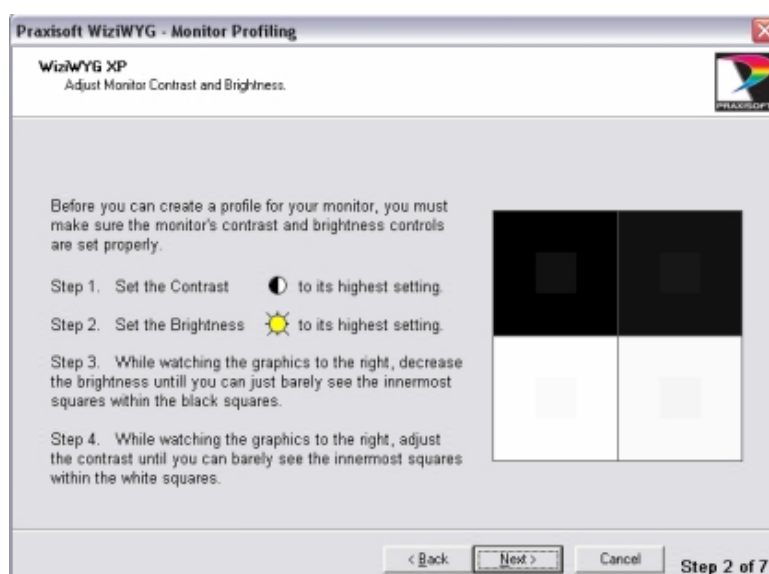
Obr. 18: Schematické znázornění funkce CRT monitoru



Obr. 19: Princip činnosti LCD displeje s aktivní maticí

## 10.5.2 Subjektivní metody kalibrace

jsou levným prostředkem, ale mají omezenou přesnost. Jsou založeny na vizuálním posuzování a hodnocení různých grafických prvků. Oko se však v průběhu dne unavuje a ovlivňuje tak barevný vjem. Při vizuálním hodnocení je dále potřeba dbát na světelné podmínky, neboť ty také ovlivňují vnímání barev. Subjektivní metody byly primárně vytvořeny pro CRT monitory, jejich použití pro kalibraci a charakterizaci LCD displejů nepřináší příliš uspokojivé výsledky. Představitelem je například Adobe Gamma, která je dodávána spolu programy fy. Adobe nebo freewarový WiziWYG spol. Praxisoft.



Obr. 2: Ukázka nastavení jasu bílého a černého bodu ve WiziWYG.

## 10.5.3 Objektivní metody kalibrace

Jsou založeny na měření barevnosti pomocí hardwarového zařízení v kombinaci s příslušným software.



Obr. 21: Objektivní kalibrace a charakterizace monitoru pomocí Eye-One Match firmy X-Rite.

zobrazovacích systémů se poněkud odlišuje od ostatních zařízení. Kalibrace a charakterizace zařízení probíhá současně a neplatí zde pravidlo, že profil (charakterizace) pouze popisuje, ale nemění, chování daného zařízení. To je patrné při startu operačního systému nebo změně aktuálního profilu, kdy se změní podání barev monitoru.

Za změnu chování je zodpovědný tzv. VCGT tag obsažený v profilu, který podle informací z profilu provede úpravu LUT grafické karty. Tento tag obsahují pouze některé profily, typicky uživatelské, které jsou vytvořené pomocí systémů ColorVision, GretagMachbeth a X-Rite. Pro správné načtení vcgt tagu je v případě windows potřeba mít nainstalován Color Control Applet pro winXP nebo používat freewarový program DisplayProfile. V obou zmiňovaných aplikacích jsou tyto profily označeny hvězdičkou.[2]

## 10.6 Kalibrace tiskárny

Termín "kalibrace tiskárny" zavedla firma GretagMacbeth pro uvedení tiskárny do standardního stavu – stabilního, reprodukovatelného a pro danou tiskovou úlohu optimálního. Kancelářské Ink-jetové tiskárny (bez ohledu na výrobce) se kalibrují pomocí prvků jejich ovladačů. [6]

### 10.6.1 Geometrické nastavení cartridge

Zarovnání tiskových hlav si provádí většina tiskáren vždy po jejich výměně. Nemáte-li jistotu, že jsou hlavy správně nastavené (v obrazu se objevují štráfky a další "neklid"), proveďte nastavení znovu podle návodu výrobce tiskárny (např. položka údržba / maintenance na ovladači). Pro dosažení kvalitního reprodukovatelného tisku použijte dostatečně plné nové cartridge s originálním tonerem, nerepasované. Nastavení nejlépe posoudíte podle testovací stránky, jejíž tisk bývá součástí položky ovladače údržby. [6]

### 10.6.2 Nastavení typu papíru a kvality tisku

Kalibraci slouží dva až čtyři prvky v ovladači tiskárny. Tato nastavení nesmíme v průběhu práce měnit. Různé tiskárny používají odlišné označení pro týž prvek, někdy je více položek shrnuto do jednoho prvku. Nastavení prvků definuje frekvenci rastrování, způsob přepočtu RGB dat na CMYK barvy, a množství aplikovaného inkoustu.

Položka	název ovládacího prvku	Volby
(1)	typ papíru	běžný-ink jet-natíraný-foto-lesklý foto-folie-samolepka
(2)	kvalita tisku / styl tisku	ekonomický-rychlý-běžný-vysoký-kvalitní-nejlepší
(3)	polotónování	hodnota dpi či: shluk-vzorek-roztřesení-rozptyl-difúze
(4)	typ zobrazení / kvalita tisku	foto-grafika-dtp-design-auto

]Podle nastaveného typu papíru tiskárna dávkuje inkousty: čím kvalitnější papír, tím méně inkoustu je tištěno. U kvalitních fotopapírů se inkoust nevsakuje do objemu, ale zůstává koncentrovaný na povrchu, kde zvolna zasychá. Pozor na rozmazávání čerstvých tisků. Zvolte takový povrch papíru (lesk-mat), který odpovídá originálu, který zobrazujete.[6]

### 10.6.3 Nastavení množství inkoustu

Stanovení správného množství inkoustů pro daný papír a danou kvalitu tisku má zásadní vliv na výsledný tisk. Při nadměrném množství inkoustu barva promáčí běžný papír (krabátí se) a stéká z papírů kvalitních; při malém množství nemá obraz detaily ve světlech ani dostatečný kontrast. Tyto nastavení se provádí opět v ovladači tiskárny.[6]

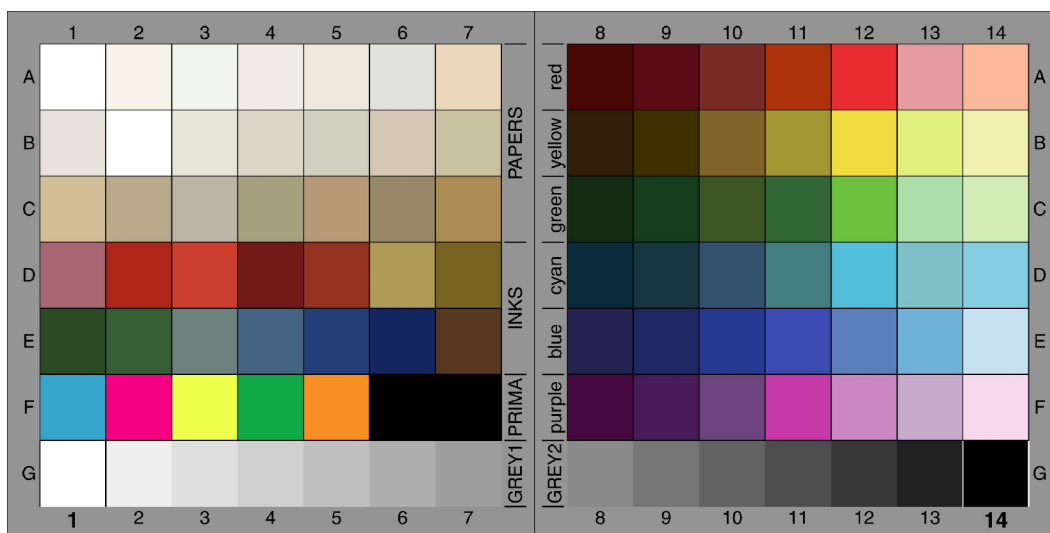
### 10.6.4 Vizuální ladění tisku

Postup nastavování optimálního barevného vyvážení (**balance**, barevný tón), světlosti (**jas**) a výraznosti (**kontrast**, **sylost**) tisku. Ladíme výhradně pomocí testovací tabulky. Jenom porovnáním originálu tabulky s tištěnou reprodukcí může cvičené oko poznat, jaké úpravy tisk potřebuje.

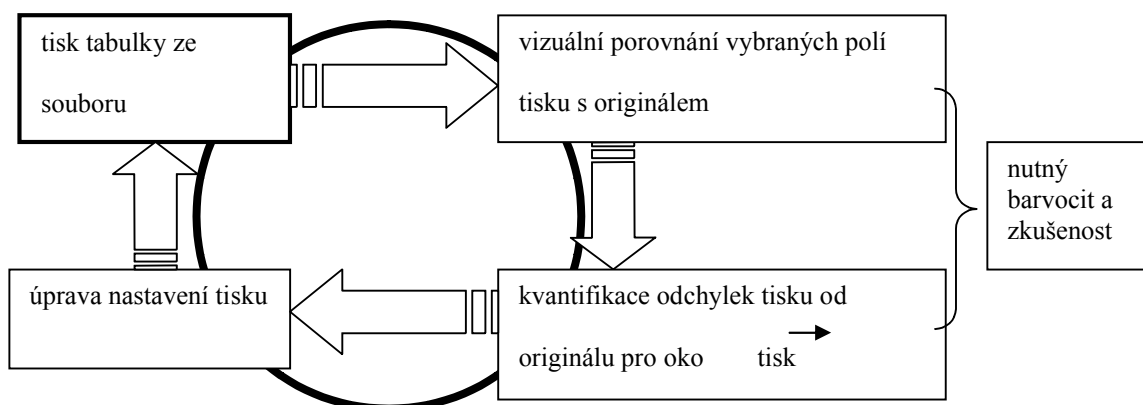
Tisk optimalizujeme vždy pro trojici pevných parametrů: fotokamera + kvalita tisku + typ papíru. Konečné nastavení si poznamenáme a použijeme vždy, když budeme tisknout touto kombinací zařízení. K odladění použijeme nastavovací prvky, které jsou na ovladačích.



Pro tisk z digitálních fotokamer se doporučují speciální tištěné obrazce, např. hexachromovou technikou tištěnou tabulku AiP Beroun (Obr.22). Používá se pouze pro vizuální ladění tisku.



Obr.22 Testovací obrazec pro tisk z digitálních fotokamer



Obr.23 Vizuální ladění spočívá v opakovaných pracovních cyklech

Detailní postup odlaďování tisku závisí na typu tabulky i typu obrazu, který má být tištěn. V zásadě se nejprve ladí šedé stupnice a potom barvy. Následující kapitola detailně popisuje ladění digitálních fotografií historických rukopisů a tisků.[6]

# 11 Postup vytváření profilu monitoru

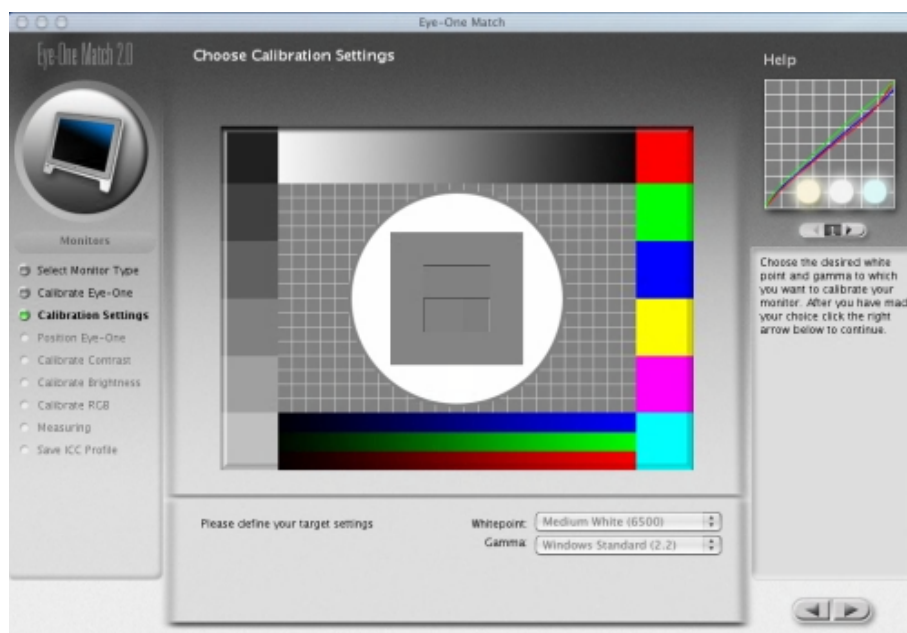
1. Výběr typu monitoru: CRT, LCD.



2. Kalibrace měřící sondy.



3. Zadání cílových hodnot pro nastavení teploty chromatičnosti a hodnoty gamma.



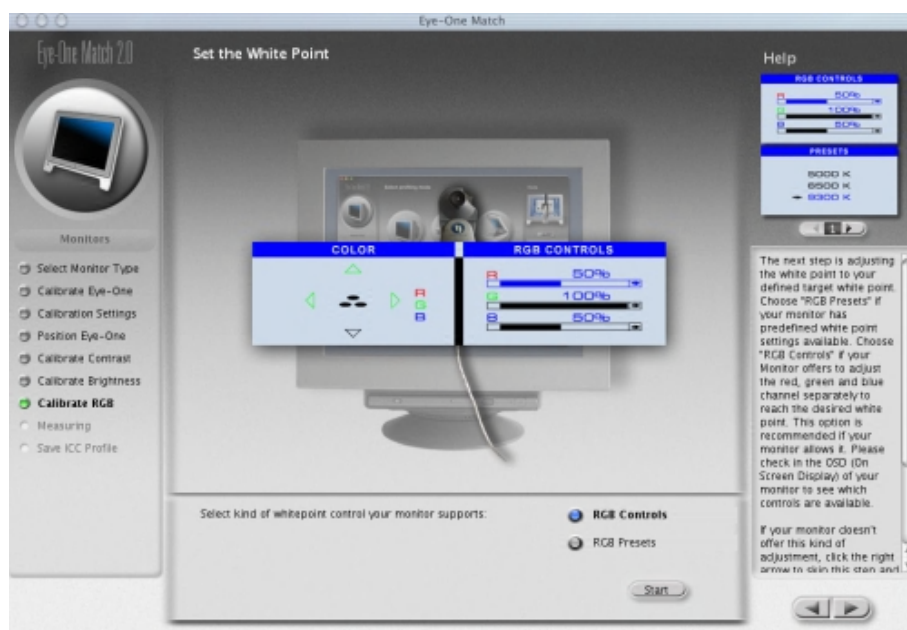
4. Upevnění měřícího zařízení na obrazovku.



5. Nastavení jasu bílého a černého bodu na specifikovanou hodnotu..



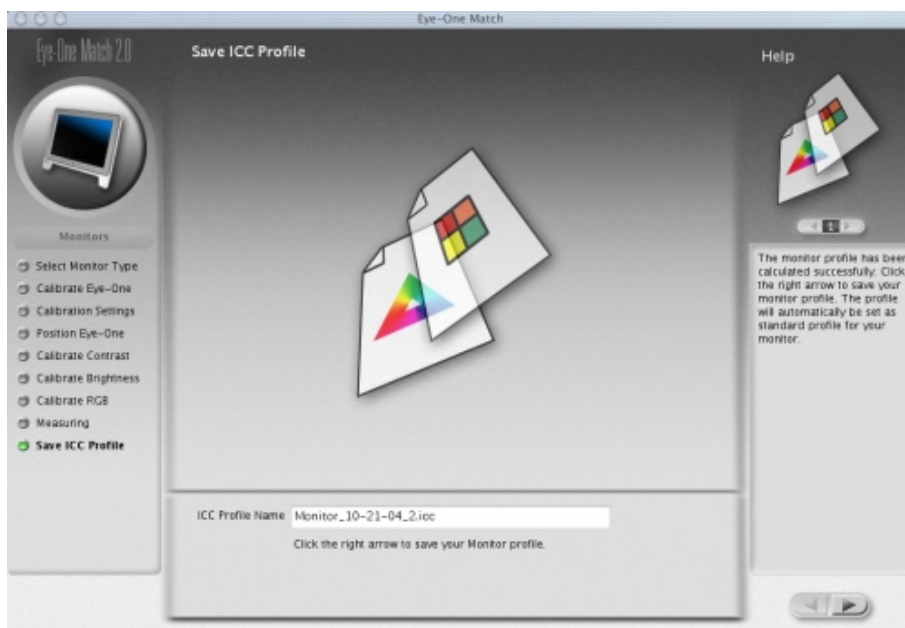
6. Korekce teploty chromatičnosti na hodnotu definovanou v bodě 3 pomocí tlačítek na monitoru.



7. Automatické zobrazení, změření a vyhodnocení sady vzorků barev..



8 Vypočítání profilu monitoru, jeho uložení a nastavení jako výchozí profil v OS.



Obecně je frekvence kalibrace určena tím, jak se mění chování daného zařízení v čase. Z faktorů, které se podílí na stabilitě, lze jmenovat degradaci luminoforů u CRT monitorů a nastavení jasu bílého bodu (vysoké hodnoty snižují životnost) u obou typů displejů. Optimální je provádět kalibraci alespoň jedenkrát měsíčně.[2]

## 12 Praktická část

Za pomoci Jiřího Böhma z firmy Tiskárna Protisk, s.r.o., jsem vytvořil několik ukázek využití ICC profilů v praxi. Při vytváření ukázek, které jsou součástí přílohy, jsem pracoval na platformě Apple Macintosh, verze OSX 10.4.11. Jako vstupní zařízení jsem použil skener AGFASCAN XY-15+, jako referenční výstup tiskárnu Epson Stylus Pro 7800, a jako výstup jsem použil svou stolní inkoustovou tiskárnu HP Deskjet F2180. Ke kalibraci monitoru jsem použil sondu X-rite DTP-96, a software pro tvorbu ICC profilu jsem použil Agfa-colortune 4.0 společně s měřicí tabulkou IT.8.7 s jejíž pomocí jsem softwarově měnil parametry již zmíněného sceneru.

## **Závěr**

Z nastudovaných poznatků, a z následného převedení do praxe, je patrné, že k věrné barevné reprodukci není, pro běžného uživatele, zapotřebí drahých zařízení a programů. Bude-li uživatel dbát pokynů pro dosažení nejlepší možné barevné reprodukce, dosáhne dobrého výsledku i za použití volně dostupných softwarů a běžných domácích zařízení.

Technologický vývoj jde neustále kupředu, a je zřejmé, že postupem času se tyto technické záležitosti budou řešit mnohem jednodušeji, ale i nadále tu zůstane problém s barevným vnímáním člověka. Každý člověk je originál, a originální je i jeho „cit pro barvu“, díky kterému bude mít správa barev stále velké uplatnění v problematice barev.

## Seznam použité literatury

- [1] Bruce Fraser, Chris Murphy, Fred Bunting: Správa barev – Průvodce profesionála v grafice a pre-presu, Computer press 2003
- [6] Ivan Daneš: Optimální tisk a zobrazení kvalitních barevných obrazů na běžných tiskárnách, Albertina a icome Praha srov.o. 2001

### Zdroje z Internetu

- [2] <http://www.reprodukce-barev.org>
- [3] <http://www.fch.vutbr.cz/>
- [4] [http:// rum.bf.jcu.cz/public/fyzika](http://rum.bf.jcu.cz/public/fyzika)
- [5] [http:// g304.chytrak.cz/polygrafie/](http://g304.chytrak.cz/polygrafie/)

## Příloha

Součástí bakalářské práce je i praktická ukázka. V zadním dílu desek je vloženo několik ukázek použití ICC profilů.