

Barevné prostory a správa barev

Oldřich Zmeškal¹, Michal Čeppan² a Petr Dzik¹

¹Ústav fyzikální a spotřební chemie, Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 118, Brno

²Katedra polygrafie a aplikovanéj fotochemie, Fakulta chemickéj a potravinárskej technológie, Slovenská technická univerzita, Radlinského 2, Bratislava

email: zmeskal@fch.vutbr.cz

1. Úvod

Při vytváření barevných obrazů, které by věrně zobrazovaly zaznamenané objekty, je třeba vycházet z fyzikální a chemické podstaty zařízení použitých při zobrazování. Ke sjednocení přístupů a k charakterizaci výrazně přispěly dvě instituce: CIE (Commission Internationale de l'Éclairage, International Commission on Illumination) a ICC (International Color Consortium, Mezinárodní konsorcium pro barvu, 1993).

CIE definovala již v roce 1931 standardní barevné prostory, chromatické diagramy (CIE Yxy, CIE Yu'v') a později standardní barevné prostory (CIELAB, CIE XYZ), dále definovala vlastnosti standardních zdrojů světla (např. D65, D55) a standardního kolorimetrického pozorovatele (2°, 10°).

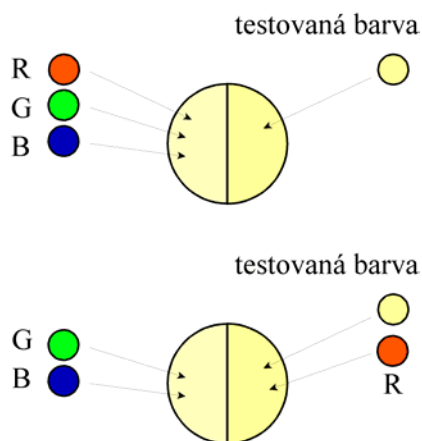
Konsorcium ICC, založené v roce 1993 firmami zabývajícími se výrobou zařízení a programových produktů pro záznam a zpracování obrazů, význačně přispělo ke sjednocení přístupu různých výrobců při výrobě zařízení, které s těmito systémy pracují. Definovalo tzv. systém správy barev (Color Management System), který umožňuje obrazy vytvořené na konkrétním zařízení (např. RGB) převádět do nezávislého barevného prostoru (CEXYZ nebo CIELAB) a výstup takto zaznamenaných obrazů do barevných prostorů zobrazovacích (RGB) nebo výstupních zařízení (CMY, CMYK).

2. Standardní barevné prostory

Návrhem barevných zobrazovacích systémů a vytvářením barevných schémat, která hrají významnou roli při stimulaci barev pomocí jiných barev se zabývá *kolorimetrie*. Vychází ze srovnávacích měření mezi analyzovanou barvou a definovanými barevnými složkami. Hodnocení je prováděno tzv. standardním pozorovatelem, který posuzuje, kdy nastane stejný vjem (metamerie) při srovnávání obrazu analyzovaného a obrazu složeného zpravidla ze tří barevných složek. Oba obrazy mohou být promítnuty např. na projekční plátno do dvou polorovin kruhového obrazce (viz obr. 1). Srovnání lze provést např. se základními barvami RGB, jejichž intenzity pro vlnovou délku λ testované barvy jsou: $\bar{r}(\lambda)$ (červená), $\bar{g}(\lambda)$ (zelená) a $\bar{b}(\lambda)$ (modrá), nebo s matematicky definovaným spektrem (modelem) tří barevných složek XYZ ("červené" $\bar{x}(\lambda)$, "zelené" $\bar{y}(\lambda)$, "modré" $\bar{z}(\lambda)$).

a) Funkce trichromatických členitelů soustavy RGB

Podle CIE se v tomto případě provádí srovnání analyzovaných monochromatických barev (definovaných v rozsahu vlnových délek 380 nm až 780 nm obvykle s krokem 5 nm) s barvou složenou ze tří monochromatických složek (červené $\lambda_r = 700$ nm, zelené $\lambda_g = 546,1$ nm a modré $\lambda_b = 435,8$ nm) jejichž intenzitu světla lze nastavit individuálně



Obr. 2.1 Skládání barev z definovaných složek RGB

($R \neq G \neq B$), viz obr. 2.1a. Ze závislosti intenzity jednotlivých barev na vlnové délce se sestaví funkce trichromatických členitelů (tristimulus value), viz obr. 2.2. Záporné hodnoty odpovídají situaci, kdy testovanou barvu nelze složit z definovaných základních monochromatických barev, ale přidáním odpovídající barevné složky (červené, zelené nebo modré) k testované barvě (obr. 2.1b)

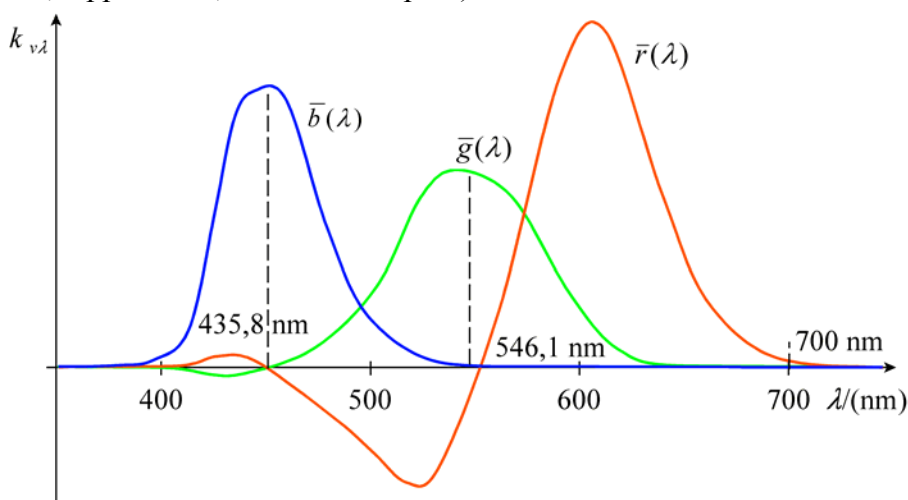
$$R = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{r}(\lambda),$$

$$G = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{g}(\lambda),$$

$$B = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{b}(\lambda),$$

kde $S(\lambda)$ je spektrální rozdělení intenzity světelného zdroje, $R(\lambda)$ je spektrální odrazivost (propustnost) objektu, $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ jsou funkce trichromatických členitelů (color-matching functions), R , G , B příslušné barevné složky (tristimulus values)

Pro jiné zvolené vlnové délky primárních barev budou zjištěné funkce $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ odlišné, lze je určit jako lineární kombinaci uvedených spektrálních funkcí (obr. 2.2). Na tomto principu jsou definovány odlišné barevné prostory (např. Wide gamut RGB, Apple RGB, Bruce RGB apod.).



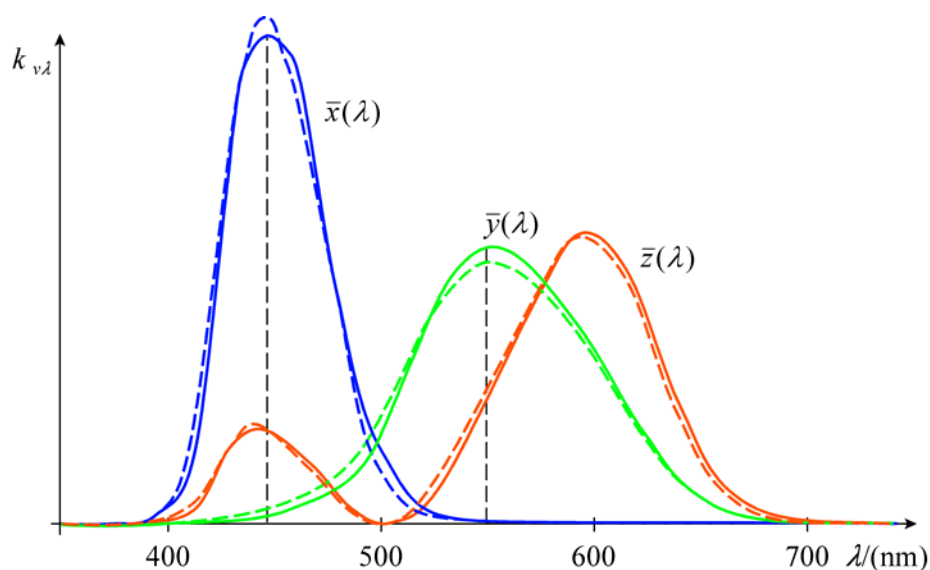
Obr. 2.2 Funkce vytvářející barvu pomocí RGB složek [1]

b) Funkce trichromatických členitelů soustavy CIE XYZ

Nevýhodou popsaných trichromatických členitelů je, že nabývají pro některé vlnové délky záporných hodnot. Proto CIE navrhla modelové zdroje světla (metamerické ke zdrojům CIE RGB), kterým odpovídají kladné funkce trichromatických členitelů. Takto transformované funkce se nazývají funkce trichromatických členitelů CIE nebo funkce normálního pozorovatele CIE 1931 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ (obr. 2.3.). Pozdějšími měřeními bylo zjištěno, že funkce trichromatických členitelů soustavy RGB, ze kterých byly počítány trichromatické členitele soustavy XYZ, neodpovídají přesně skutečnosti.

Trichromatické členitele $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ byly jednoduše prohlášeny za základní funkce definující soustavu CIE 1931 (CIE XYZ) a způsob jejich získání se dále nezdůrazňuje.

Funkce trichromatických členitelů CIE 1931 byly odvozeny pro podmínky přísně *foveálního vidění*, tj. vnímání barev centrální částí sítnice, která obsahuje pouze čípky. Platí tedy pouze v případě, když zorné pole zabírá úzký prostorový úhel, byly odvozeny pro pozorování v zorném úhlu 2° , v praxi až do 4° . V mnoha případech však světlo vyvolávající vjem barvy vniká do tak, že dopadá na celou sítnici. Proto CIE definovala funkce doplňkového pozorovatele CIE 1964 pro pozorování pod větším zorným úhlem, tedy i těmi částmi sítnice, kde jako receptor kromě čípků spolupůsobí tyčinky a kde se žluté zbarvení sítnice odlišuje od zbarvení v její centrální části. Tyto trichromatické členitele byly stanoveny z měření pro zorný úhel 10° a označují se $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$.



Obr. 2.3 Funkce standardního kolorimetrického pozorovatele CIE (plně 2° , čárkovně 10°), [1]

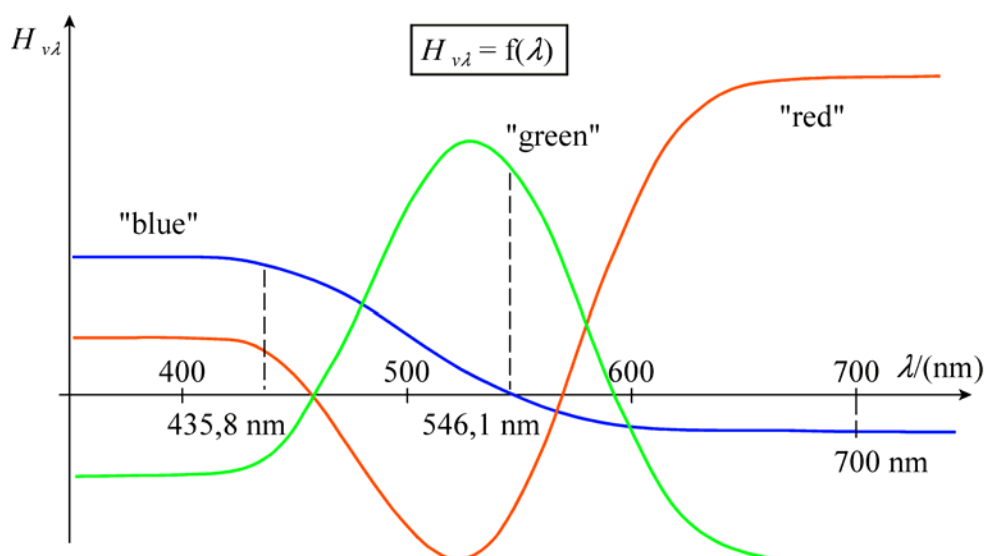
Každou barvu lze charakterizovat pomocí určitých hodnot tří měrných podnětů X , Y , Z kolorimetrické soustavy. Tato množství měrných podnětů se nazývají *trichromatické složky*. Počítají se pomocí funkcí normálního pozorovatele CIE 1931 nebo doplňkového pozorovatele CIE 1964 podle vztahů

$$X = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda),$$

$$Y = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda),$$

$$Z = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda),$$

kde $S(\lambda)$ je spektrální rozdělení intenzity světelného zdroje, $R(\lambda)$ je spektrální odrazivost (propustnost) objektu, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ jsou funkce normálního (doplňkového) pozorovatele CIE. Hodnoty X , Y , Z se nazývají trichromatické složky. Konstanta k se volí tak, aby hodnota $Y = 100$ pro absolutně bílé (nebo absolutně průzračné) těleso.

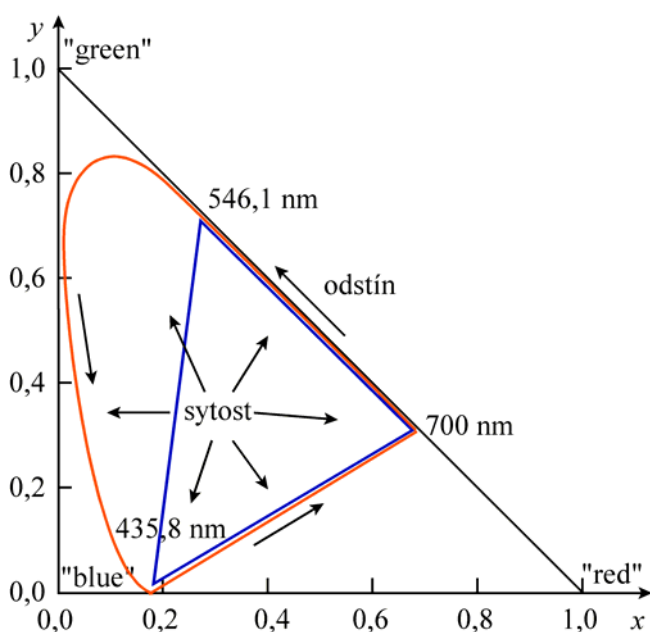


Obr. 2.4 Spektrální charakteristiky zdrojů světla "základních barev" odpovídajících standardnímu kolorimetrickému pozorovateli CIE

Spektrální charakteristiky zdrojů světla metamerických k světelným zdrojům CIE RGB pozorovatele jsou uvedeny na obr. 2.4. Byly definovány tak, aby funkce pozorovatele

(color-matching functions) nabývaly pouze kladných hodnot. To je možné pouze tehdy, když hypotetické osvětlení nabývá pro určité vlnové délky hodnot záporných.

Trichromatické složky X , Y a Z definují polohu barvy v trojrozměrném kolorimetrickém prostoru CIEXYZ. Na geometrické znázornění barev se častěji využívá rovinný řez kolorimetrickým prostorem – kolorimetrický trojúhelník, diagram chromatičnosti. Chromatičnost (pestré vlastnosti barvy) se vyjadřuje dvěma trichromatickými souřadnicemi x a y . Trichromatické souřadnice pro normálního pozorovatele x , y , z ,



Obr. 2.5 Diagram chromatičnosti CIE 1931

resp. pro doplňkového pozorovatele x_{10} , y_{10} , z_{10} lze vypočítat z příslušných trichromatických složek

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}.$$

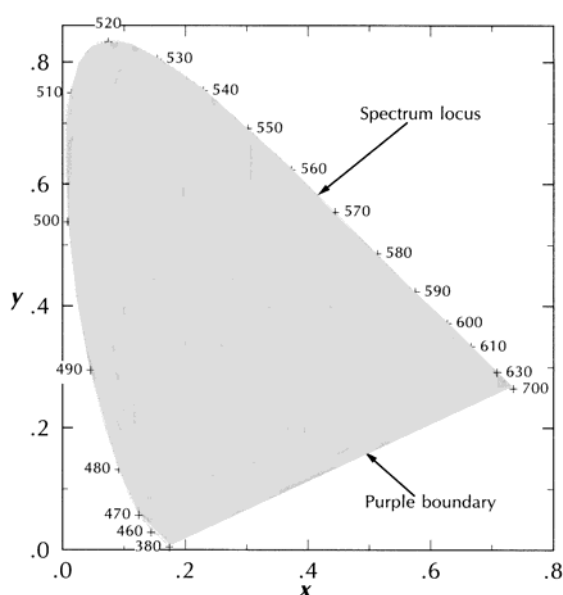
Na obr. 2.5 (obr. 2.6) je znázorněn diagram chromatičnosti CIE 1931. Na obvodu trojúhelníka se nacházejí syté barevné tóny, sytost barvy se snižuje směrem k jeho středu. Barvy se stejným odstínem leží na přímce spojující bod na obvodu trojúhelníka a bod odpovídající bílé barvě. Diagram chromatičnosti barevného prostoru RGB (tzv. gamut) je podmnožinou prostoru Yxy . Je vymezen trojúhelníkem v jehož vrcholech se

nacházejí základní barvy monochromatických světelných zdrojů R (700 nm), G (546,1 nm) a B (435,8 nm). Barvy mimo tento trojúhelník nelze vytvořit složením uvedených základních barev, ve spektrálních charakteristikách na obr. 2.2 jsou to ty, kterým odpovídají záporné hodnoty funkcí.

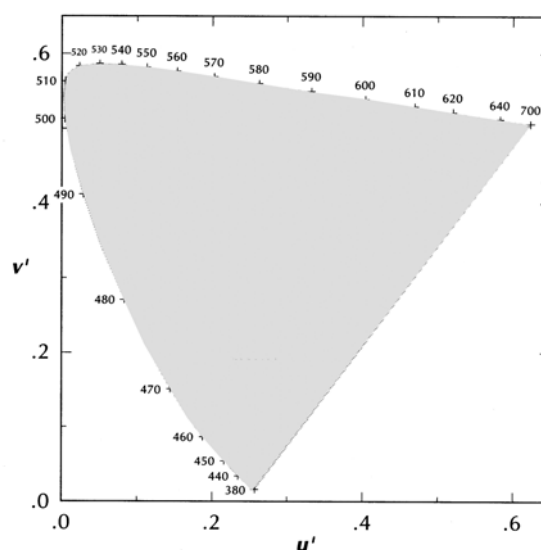
Diagram chromatičnosti CIE $u'v'$ (CIE 1961) odstraňuje nerovnoměrnosti rozdílů barev v diagramu chromatičnosti CIExy (obr. 2.7). Jeho souřadnice lze určit pomocí vztahů

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z}, \quad v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z}.$$

Diagramy chromatičnosti se často využívají při srovnávání gamutů jednotlivých zařízení.



Obr. 2.6 Chromatický diagram CIE 1931 (CIE Yxy)



Obr. 2.7 Chromatický diagram CIE 1976 (CIE Yu'v')

3. Konstrukce prostorových modelů

a) Standardní barevný prostor CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) - CIELAB

Pravoúhlé osy tohoto prostoru tvoří měrná světlost L^* , která nabývá hodnot z intervalu 0 (černá) až 100 (bílá), a dvě chromatické osy a^* a b^* . Osa a^* probíhá od zelené barvy k červené, osa b^* od modré ke žluté.

Souřadnice barvy se počítá z trichromatických složek pro $X > 0,008856X_n$, $Y > 0,008856Y_n$ a $Z > 0,008856Z_n$ pomocí následujících vztahů

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16, \quad a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right], \quad b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right],$$

kde X_n , Y_n , Z_n jsou trichromatické složky použitého normalizovaného světla. Pro ostatní X , Y , Z se provádí lineární extrapolace, viz [1]. Hodnoty X_n , Y_n , Z_n pro světelné zdroje D65, ..., D50 a typu E jsou uvedeny v tabulce 1.

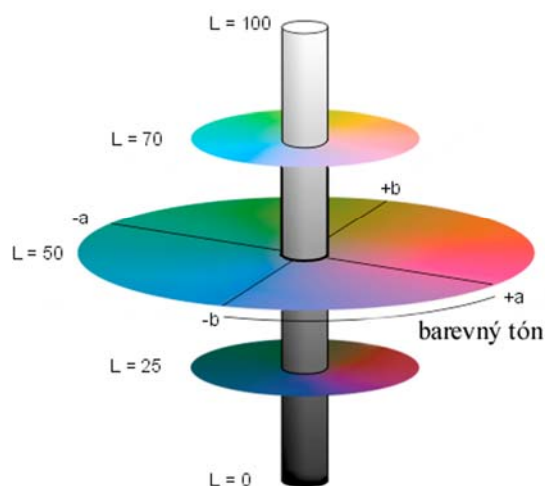
Tabulka 1

zdroj světla	Y_n	x_n	y_n	z_n	u_n	v_n
D65	100	0,3127	0,3290	0,3583	0,1978	0,4451
D60	100	0,3226	0,3382	0,3393	0,2012	0,4526
D55	100	0,3324	0,3474	0,3202	0,2044	0,4600
D50	100	0,3457	0,3585	0,2958	0,2092	0,4707
E	100	0,3333	0,3333	0,3334	0,2105	0,4737

Z chromatických souřadnic a^* a b^* prostoru CIELAB lze vypočítat veličiny, které jsou intuitivní, protože odpovídají lidskému pojetí tvorby barev. Je to měrná čistota - chroma C^*_{ab} (sytnost) a měrný úhel barevného tónu - hue h°_{ab} (barevný tón, odstín)

$$C^*_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}, \quad h^\circ_{ab} = \arctg(b^*/a^*).$$

Měrná čistota barvy určuje vzdálenost od středu chromatické roviny a^*b^* , odstín udává úhel ve stupních v rovině a^*b^* , počátek je na kladné poloose a^* (červená 0°), další poloosy odpovídají následujícím barvám: b^* (žlutá 90°), $-a^*$ (zelená 180°), $-b^*$ (modrá 270°), viz obr. 3.1. Podobné

Obr. 3.1 Prostorový model CIE $L^*a^*b^*$

vlastnosti má standardní barevný prostor CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) – CIELUV. Barevný prostor CIELAB (CIE LUV) umožňuje také výpočet objektivních odchylek ΔE^*_{ab} (rozdíl barev) mezi jednotlivými barvami z odchylek jasu ΔL^* a odchylek chromatických souřadnic Δa^* (resp. Δu^*) a Δb^* (resp. Δv^*) a to pomocí vztahu

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

Rozdíl barev ΔE^*_{ab} představuje důležitou, obecně uznávanou metodu hodnocení rozdílu barev. Podle její velikosti lze hodnotit např. kvalitu monitorů, shodu mezi tisky apod. Pro snadnější

orientaci byla stanovena stupnice udávající stupeň neshody dvou barev (viz tab. 2)

Tabulka 2

ΔE^*	rozdíl	ΔE^*	rozdíl
0,0 až 0,2	nepostřehnutelný		
0,2 až 0,5	velmi slabý	0,2 až 1,0	postřehnutelný
0,5 až 1,5	slabý	1,0 až 2,0	rozeznatelný
1,5 až 3,0	jasně postřehnutelný	2,0 až 4,0	ještě nerušící
3,0 až 6,0	střední	4,0 až 8,0	mírně rušící
6,0 až 12,0	výrazný		
12,0 až 16,0	velmi výrazný		
větší než 16,0	rušící		

Samostatně lze hodnotit i odchylky jednotlivých složek

- $\Delta L^* > 0$ vzorek je světlejší (a naopak)
- $\Delta a^* > 0$ vzorek je červenější (a naopak zelenější)
- $\Delta b^* > 0$ vzorek je žlutější (a naopak modřejší)
- $\Delta C^*_{ab} > 0$ vzorek je sytější - více chromatický.

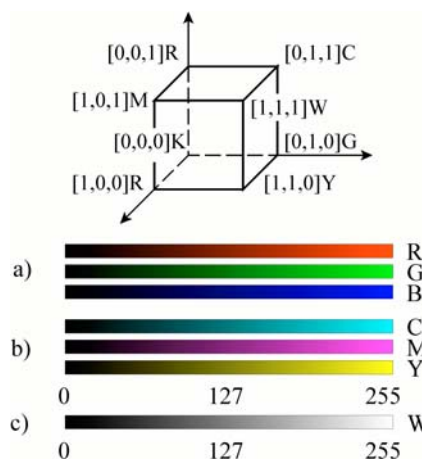
Uvedené barvové prostory, zejména prostor *CIELAB* mají významné postavení v technologiích správy barev (Color Managementu (viz *kap. 4*), protože umožňují spolehlivou archivaci nezkreslených barevných obrazů. Jsou nezávislé na typu zařízení a proto se používají v modulu správy barev (Color Management Modul) k převodu barev mezi jednotlivými zařízeními (např. skenerem a tiskárnou).

b) Prostorový model *CIE RGB*

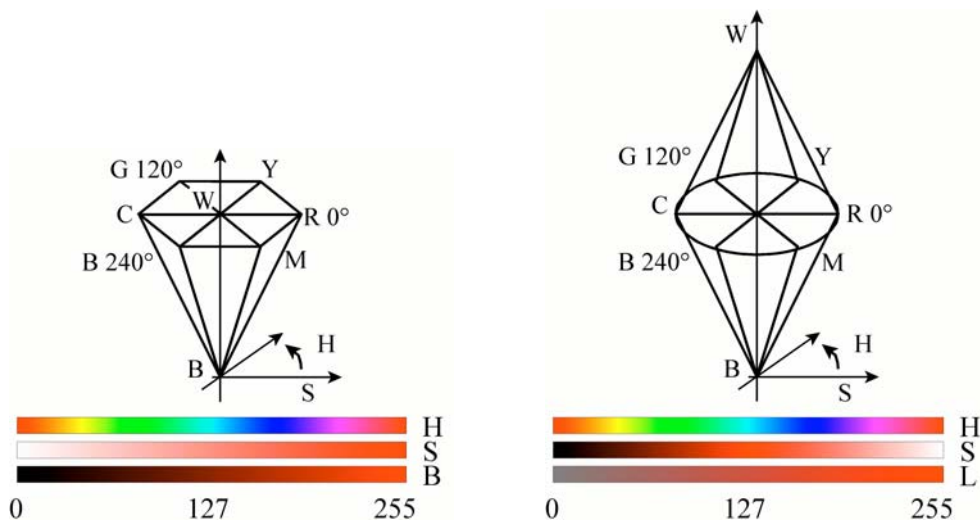
Tento model je podmnožinou modelu *CIE L*a*b**. Jeho základní složky tvoří červená (*R*), zelená (*G*) a modrá (*B*) barva. Aditivním mícháním těchto tří primárních barev může vzniknout jakákoliv jiná barva. Model RGB si lze představit jako jednotkovou krychli v jejích vrcholech jsou černá (*K*), bílá (*W*), červená (*R*), zelená (*G*), modrá (*B*), azurová (*C*), purpurová (*M*) a žlutá (*Y*) barva (obr. 3.2a). Na tomto barvovém prostoru je založeno zobrazování barev téměř všech elektronických zobrazovacích systémů. Převod na odstíny šedé se provádí s ohledem na citlivost lidského oka (nejcitlivější je na zelenou) podle vztahu $I = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B$, viz obr. 3.2b

Z barvového prostoru RGB lze odvodit doplňkový barvový prostor CMY, odečtením složek od bílé barvy. Složky barvového prostoru CMY jsou zobrazeny na obr. 3.2a dole.

Prostorový model HSB je odvozen z modelu RGB. Jeho základními komponentami jsou hue (*H*), saturation (*S*) a brightness (*B*). Barevný tón označuje převládající spektrální barvu, sytost určuje příměsi jiných barev a jasová hodnota množství bílého světla. Tento model má tvar šestibokého jehlanu, jehož vrchol má černou barvu (*K*). Jasová hodnota roste směrem k podstavě, střed podstavy tvoří bílá barva. Sytost je dána vzdáleností bodu od osy jehlanu. Dominantní barvy leží na plášti jehlanu, čisté barvy jsou u obvodu podstavy. V literatuře se tento prostor často označuje jako HSV (*V* - value). Složky barvového prostoru HSB jsou zobrazeny na obr. 3.3a.



Obr. 3.2 Barvový prostor a) RGB, b) CMY, c) odstínů šedé,



Obr. 3.3 Barvový prostor a) HSB, b) HLS

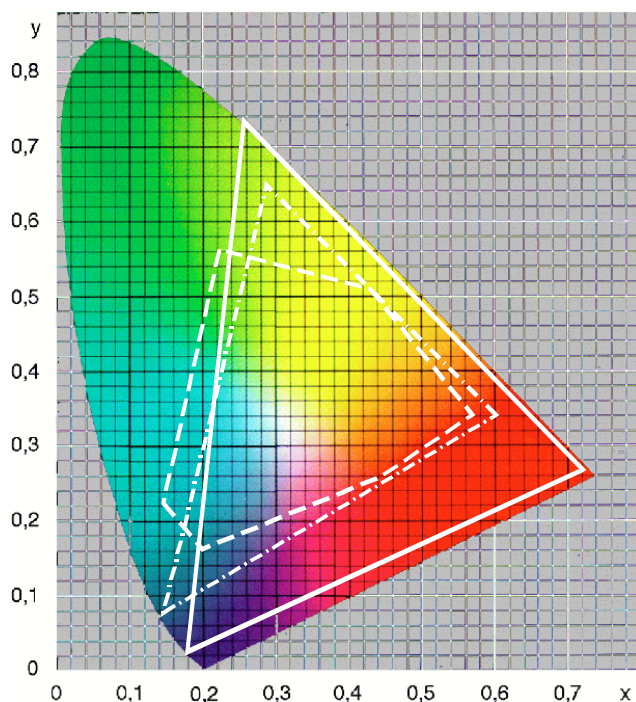
Prostorový model HLS je opět odvozen z modelu RGB. Jeho základními komponentami jsou hue (H), lightness (L) a saturation (S). Má tvar dvou kuželů obrácených podstavami k sobě. Barevný tón je vyjádřen úhlovou hodnotou (0 - 360°), světlost se mění od nuly (black, dolní vrchol) do jedné (white, horní vrchol). Sytost nabývá na povrchu kuželu hodnoty jedna a klesá na nulu směrem k ose kuželů. Nejjasnější čisté barvy leží na obvodu podstav kuželů. Tvar prostoru HLS plně odpovídá skutečnosti, že nejvíce různých barev vnímáme při průměrném osvětlení (oblast podstav). Schopnost rozlišit barvy klesá jak při velkém ztmavení, tak při přesvětlení. Složky barvového prostoru HLS jsou zobrazeny na *obr.3.3b*.

4. Správa barev – Color Management

Digitální obraz lze snímat a zpracovávat na různých zařízeních, jako jsou např. digitální fotoaparáty a skenery, počítače a počítačové obrazovky nebo výstupní zařízení (tiskárny, expoziční jednotky). Aby tento proces spolehlivě vedl k co nejvěrnější barevné reprodukci, musí zařízení v reprodukčním řetězci splňovat určité minimální požadavky – záznam barevného obrazu se nesmí vůči předloze zkreslit a barevný vzhled zpracovávaného obrazu v jednotlivých krocích reprodukčního řetězce musí být stejný (přesněji co nejpodobnější), jako barevný vzhled výsledné reprodukce, a to bez ohledu na zařízení či proces. Splnění těchto požadavků by nebylo problémem, když by všechna zařízení reprodukčního řetězce popisovala barvu a manipulovala s ní stejným způsobem a když by měla schopnost zobrazit stejný rozsah barev, stejnou barevnou škálu (gamut).

Skenery, digitální fotoaparáty a počítačové obrazovky definují barvu v prostoru RGB, zatímco výstupní zařízení většinou v prostoru CMY nebo CMYK. To znamená, že například v soustavě RGB se barva popisuje třemi souřadnicemi, které definují podíl červené, zelené a modré základní složky. Tyto základní složky jsou např. u monitorů definované spektrální funkcí emise jednotlivých luminoforů nebo u digitálních fotoaparátů spektrální citlivostí CCD prvků. Výsledné barevné zobrazení potom ovlivňují technické vlastnosti konkrétního zařízení. Když se digitální barevný obraz například zobrazí na různých obrazovkách, barevné podání se bude viditelně lišit, protože spektrální vlastnosti luminoforů různých monitorů nemusí být stejné. Podobně, když se různými digitálními fotoaparáty snímá jedna barevná předloha, digitální reprezentace obrazu bude záviset na vlastnostech konkrétního fotoaparátu. Podobně se budou odlišovat zobrazení jednoho digitálního obrazu vytisknuté na různých barevných tiskárnách. Zařízení reprodukčního řetězce využívající prostor RGB a CMYK jsou přístrojově závislé (device dependent), to znamená, že zobrazení závisí na konkrétních technických podmínkách a na nastavení zařízení.

Dalším problémem zařízení reprodukčního řetězce je různý rozsah barev, různá barevná škála neboli gamut, který jsou jednotlivá zařízení technicky schopná zobrazit. Na *obr. 4.1* je znázorněn barevný gamut vstupního (skeneru), zobrazovacího (monitoru) a výstupního zařízení (tiskárny). Je zřejmé, že existují barvy, které nejsou všechna tři zařízení schopna zobrazit. Barevné gamuty jednotlivých zařízení reprodukčního řetězce jsou různé. Nejčastěji se musí řešit problém transformace barev většího gamutu vstupního zařízení do menšího gamutu obrazovky nebo výstupního zařízení.



Obr. 4.1 Barevné gamuty monitoru (čerkovaně), tiskárny (čárkovaně) a skeneru (plně) v chromatickém diagramu CIE_{xy}

Při postupném zpracování digitálního obrazu v reprodukčním řetězci může každé zařízení určitým způsobem změnit barevné podání reprodukce. V minulosti se především při přípravě tisku používaly systémy od jednoho výrobce, tzv. uzavřené systémy. Výrobce uzavřeného systému svým technickým řešením přebíral zodpovědnost za vzájemné sladění všech částí a zařízení reprodukčního řetězce a za korekce barevných deformací od vstupu až po výstup.

V současnosti se barevný reprodukční řetězec vyznačuje otevřenou architekturou. To znamená, že v řetězci spolupracují zařízení různých výrobců. V otevřeném reprodukčním řetězci již shodu jednotlivých zařízení nezabezpečuje technické řešení. Vzájemnou spolupráci a nejvýhodnější koordinaci musí řídit

systémový prvek – *systém správy barev*, Color Management System (CMS).

Systém správy barev standardizuje a integruje jednotlivé prvky reprodukčního řetězce s otevřenou architekturou do jednotného systému, kompenzuje barevné deformace na jednotlivých zařízeních a řídí celý proces toku a zpracování digitálních obrazových údajů v reprodukčním řetězci. Systém správy barev zabezpečuje dva hlavní úkoly

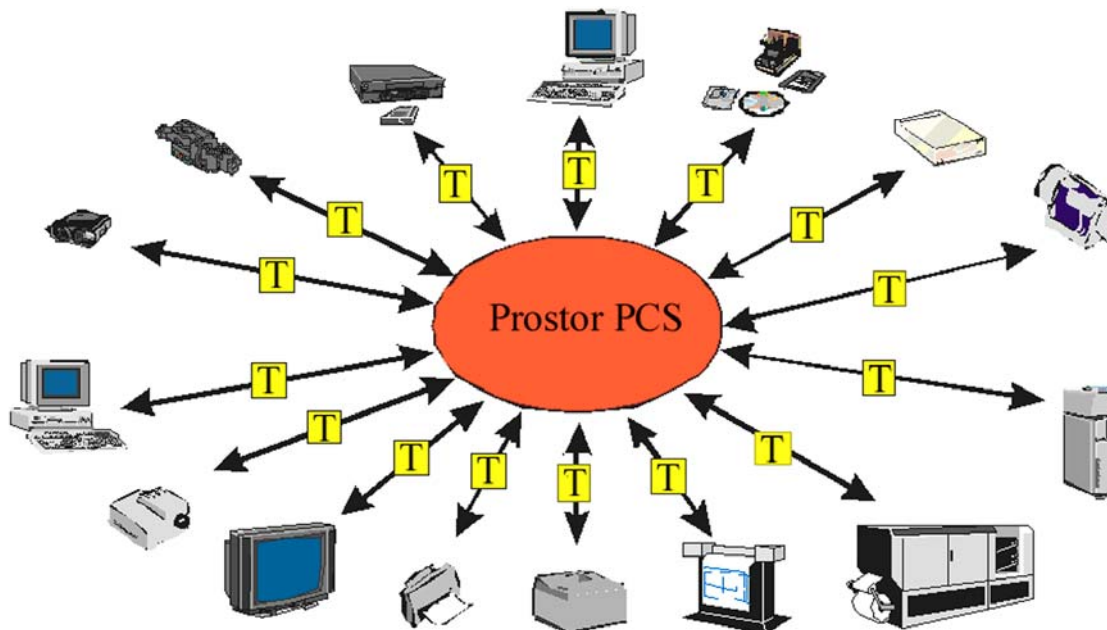
- vzájemnou konverzi přístrojově závislých hodnot barvy vstupních, zobrazovacích a výstupních zařízení,
- optimální převod a adaptaci barev mezi zařízeními s různou barevnou škálou (gamutem).

Součástí programového vybavení systému správy barev je uchovávání a manipulace s daty, které popisují barevné charakteristiky vstupních, zobrazovacích a výstupních zařízení. S cílem koordinovat a standardizovat aktivity v oblasti systémů správy barev vzniklo v r. 1993 *Mezinárodní konsorcium pro barvu* (International Color Consortium, ICC). Konsorcium založili nejvýznamnější společnosti z oblasti počítačových zařízení a programového vybavení pro barevnou reprodukci (Adobe Systems Incorporated, Agfa-Gevaert N.V., Apple Computer, Inc., Eastman Kodak Company, Microsoft Corporation, Sun Microsystems, Inc.). Konsorcium ICC definovalo základní prvky systému správy barev a požadavky na zařízení, které s těmito systémy pracují. Vlastnosti každého zařízení standardním způsobem popisuje profil ICC. Profil ICC je jakousi legitimací (průkazkou) zařízení v řetězci barevné reprodukce. Formát souboru profilu definuje specifikace ICC (Specification ICC.1:2001-12, File Format for Color Profiles, Version 4.0.0).

Podle konsorcia ICC se konverze barevných údajů mezi jednotlivými zařízeními neuskutečňují přímo, ale ve dvou krocích

- v prvním kroku je provedena transformace přístrojově závislých údajů nativního zařízení do standardního, přístrojově nezávislého barevného prostoru (tzv. Profile Connection Space, PCS). Prostorem PCS je standardní kolorimetrický prostor CIEXYZ nebo CIELAB.
- ve druhém kroku se potom hodnoty vyjádřené v prostoru PCS transformují na přístrojově závislé hodnoty druhého nativního zařízení.

Klíčovým prvkem konverze je tedy prostor PCS, který představuje rozhraní zabezpečující jednoznačné propojení vstupních a výstupních zařízení (obr. 4.2)



Obr. 4.2. Schéma konverze barevných údajů mezi jednotlivými zařízeními reprodukčního řetězce (T – transformace mezi přístrojově závislým barevným prostorem zařízení a standardním prostorem PCS)

Výhodou této nepřímé konverze je, že postačí vytvořit transformační vztahy pouze mezi přístrojově závislými prostory jednotlivých nativních zařízení a prostorem PCS, místo vytváření transformačních vztahů mezi všemi dvojicemi zařízení v reprodukčním řetězci.

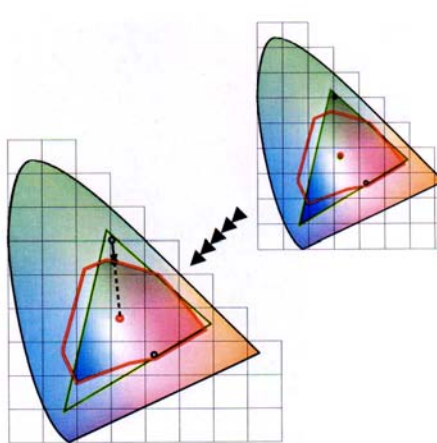
Převod a adaptaci barevných údajů z jednoho zařízení na druhé charakterizuje adaptační cíl (rendering intent). Adaptační cíl definuje, jak dosáhnout nejlepší možnou barevnou shodu mezi předlohou a reprodukcí na zařízeních s různou technickou schopností zobrazit škálu barev. Specifikace ICC podporují jako standardní čtyři metody adaptace barevných údajů mezi barevnými prostory zařízení s různým barevným gamutem. Tyto metody charakterizují čtyři adaptační cíle

- absolutní kolorimetrickou adaptaci,
- relativní kolorimetrickou adaptaci,
- vjemovou adaptaci,
- saturační adaptaci.

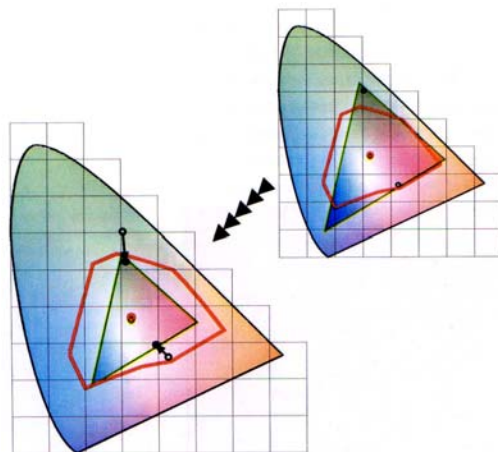
Absolutní kolorimetrická adaptace (obr. 4.3) se používá k transformaci barevných údajů mezi zařízeními s málo odlišnými barevnými gamuty, pokud jsou dány přísné požadavky na věrnost barevného podání reprodukce. Když je gamut výstupního zařízení

menší než gamut originálu, mimogamutové barvy se při adaptaci nahradí barvami na hranici gamutu výstupního zařízení. Při absolutní kolorimetrické adaptaci se zachová bílý bod originálu a barvy v průniku gamutů. Nejsvětlejší a nejtmavší barvy originálu, ale i nejsytější barvy originálu se posunou na hranice gamutu výstupu (obr. 4.7). Barevný tón adaptovaných barev se při adaptaci zachová. V oblasti barev mimo gamut výstupního zařízení může dojít ke ztrátě detailů. Absolutní kolorimetrická adaptace se při přípravě tisku používá především při simulaci přímých barev a pro digitální nátisky.

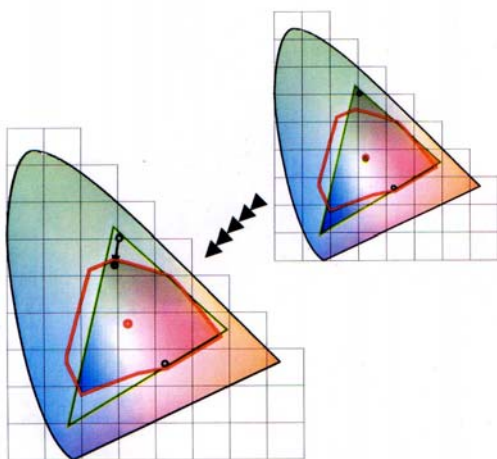
Relativní kolorimetrická adaptace (obr. 4.4). Zatímco absolutní kolorimetrická adaptace je definována vzhledem k bílému bodu osvětlení (nejčastěji CIE D50), vztažným bílým bodem relativní kolorimetrické adaptace je bílý bod substrátu výstupu – reprodukce, tedy nejčastěji potiskovaného papíru. Funkce transformace světlosti už není diagonální, ale odráží přizpůsobení bílému bodu papíru (obr. 4.7). Nejsvětlejší a nejtmavší barvy originálu se adaptují na hranice gamutu výstupu, světlost ostatních barev originálu se transformuje podle přímky procházející bílým bodem papíru. Chroma se adaptuje stejně jako při absolutní kolorimetrické adaptaci (obr. 4.8). Barevný tón se ani v tomto případě nemění. Relativní kolorimetrická adaptace se při přípravě tisku používá při reprodukci vektorových kreseb a pro digitální nátisky.



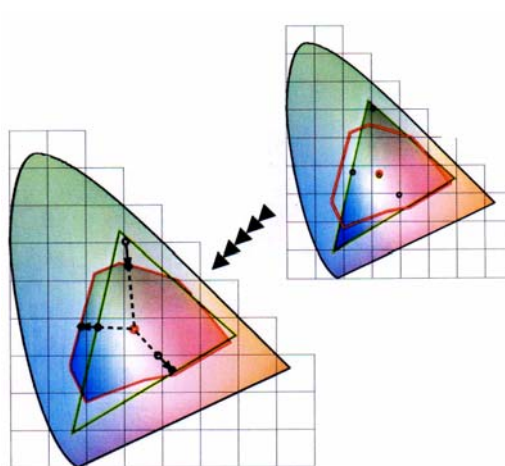
Obr. 4.3 Absolutní kolorimetrická adaptace [3]



Obr. 4.4 Relativní kolorimetrická adaptace [3]



Obr. 4.5 Vjemová adaptace [3]



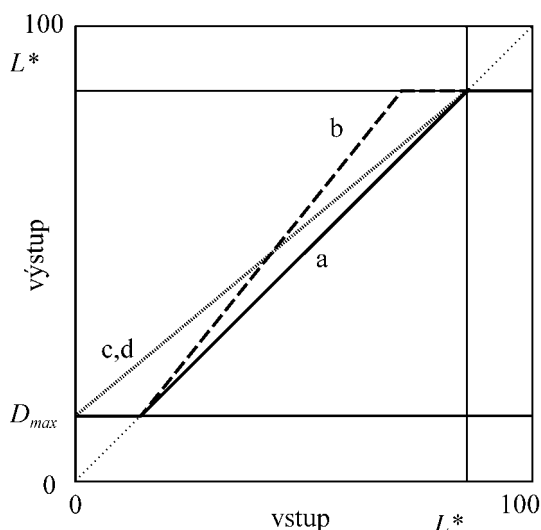
Obr. 4.6 Saturační adaptace [3]

Vjemová adaptace (obr. 4.5) poskytuje optimální reprodukci v případech, když se barevný gamut vstupního zařízení – originálu značně odlišuje od gamutu výstupního zařízení – reprodukce. Protože gamut výstupních zařízení bývá menší, při adaptaci je potřebná komprese gamutu barev originálu. Principem vjemové adaptace je zachování vztahu mezi barvami, zachování relativních barevných poměrů originálu. Při adaptaci se dodržují následující zásady

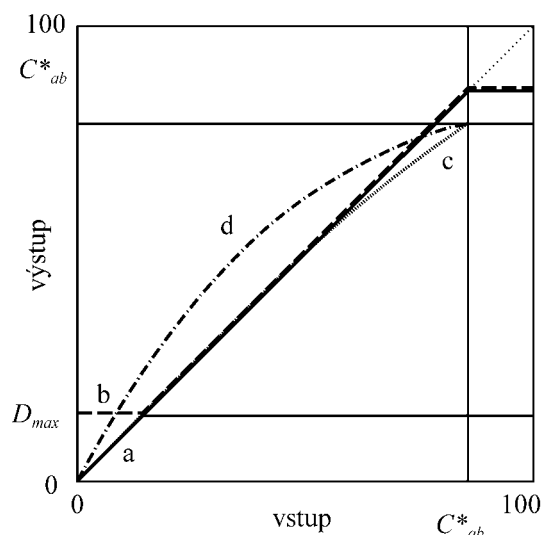
- světlost se komprimuje podle lineární transformační přímky nezávisle na barevném tónu (obr. 4.7),
- chroma se komprimuje podle nelineární transformační funkce nezávisle na barevném tónu (obr. 4.8),
- barevný tón se nemění.

Vjemová adaptace zabráňuje ztrátě detailů, proto se používá pro fotografie.

Saturační adaptace (obr. 4.6) se používá poměrně vzácně, a to pouze v obchodní grafice a při přípravě tisku obalů. Sytost se adaptuje tak, aby se při reprodukci dosáhlo co nejvyšší sytosti barev v rámci gamutu výstupního zařízení (obr. 4.8). Světlost se adaptuje stejně, jako při vjemové adaptaci (obr. 4.8) a barevný tón se nemění.



Obr. 4.7 Změna světlosti pro kolorimetrické adaptace a) absolutní, b) relativní, c) vjemovou, d) saturační



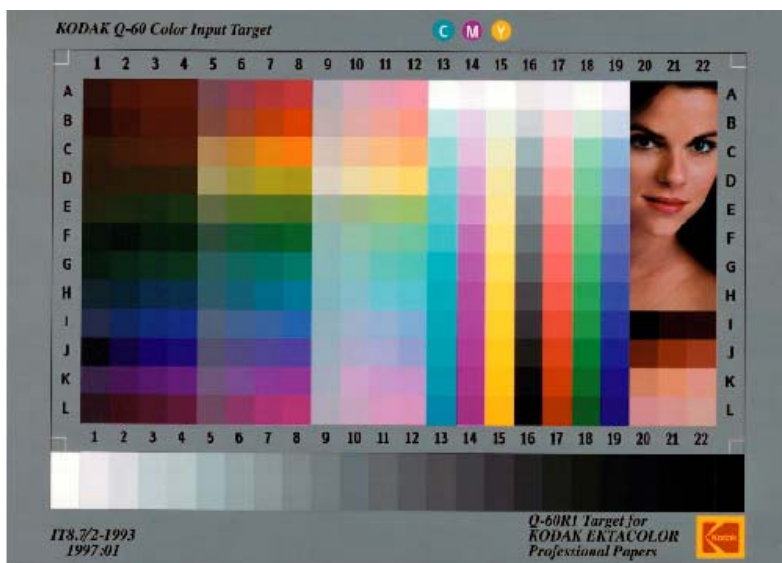
Obr. 4.8 Změna sytosti (chromy) pro kolorimetrické adaptace a) absolutní, b) relativní, c) vjemovou, d) saturační

Předpokladem úspěšného použití systémů správy barev jsou profily ICC vstupních a výstupních zařízení reprodukčního řetězce. Profil ICC obsahuje všechny informace, které systém správy barev potřebuje při zpracování, transformacích a konverzích digitálního barevného obrazu. Patří k nim především údaje o

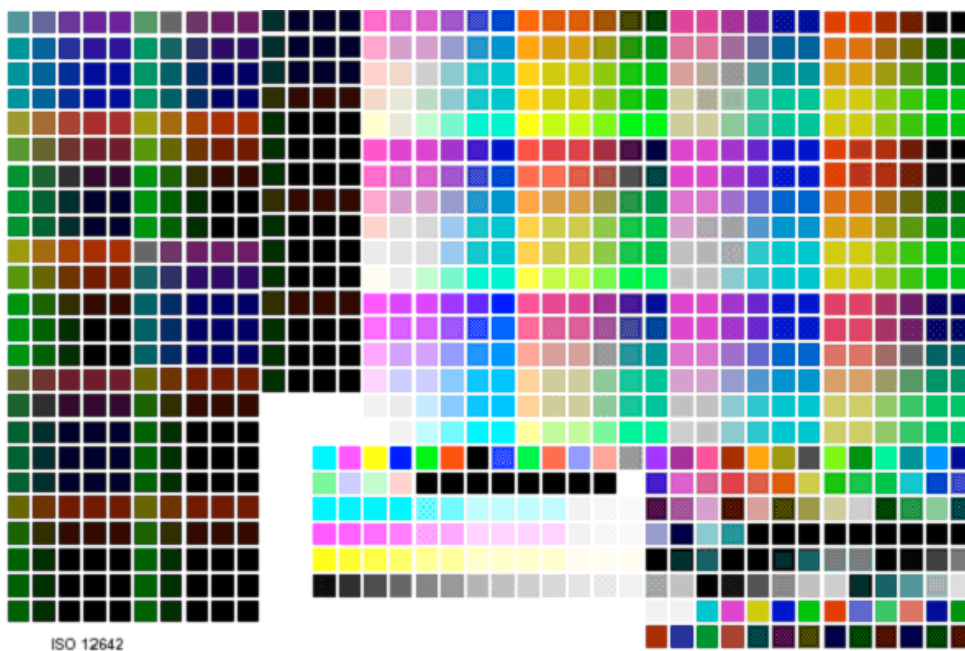
- barevném rozsahu (gamutu), který může zařízení technicky realizovat,
- definici transformace mezi přístrojově závislým barevným prostorem zařízení a prostorem PCS.

Profil ICC buď dodá výrobce zařízení nebo si ho uživatel vytvoří sám pomocí speciálního programového vybavení. Dodávané profily ICC jsou pro uživatele pohodlnější, charakterizují však zařízení pouze za určitých výrobcem předpokládaných obecných podmínek a stavů. Vytvářené, vlastní profily mohou přesněji charakterizovat zařízení při konkrétních podmínkách a konkrétním provozním stavu.

Při vytváření ICC profilu vstupního zařízení (skener, digitální fotoaparát) se sejme standardní barevná předloha a ICC profil se vypočte na základě porovnání dodaných kolorimetrických údajů standardní předlohy s údaji digitálního obrazu v paměti počítače. Při vytváření ICC profilu obrazovky se na obrazovce zobrazí standardní digitální barevná předloha, proměří se kolorimetrické údaje zobrazení na obrazovce a porovnáním s očekávanými hodnotami standardní předlohy se vypočítá profil ICC. Při vytváření ICC profilu výstupního zařízení se vytlačí reprodukce standardní digitální barevné předlohy a po jejím kolorimetrickém přeměření se porovnáním s očekávanými hodnotami standardní předlohy vypočítá ICC profil.



Obr. 4.9 Standardní barevná předloha pro vytváření profilů ICC vstupních zařízení podle normy ISO 12642



Obr. 4.10 Standardní barevná předloha pro vytváření profilů ICC výstupních zařízení podle normy ISO 12642

Standardní předlohy pro vytváření ICC profilů vstupních a výstupních zařízení musí obsahovat dostatek barevných vzorků, aby se získali reprezentativní údaje o vlastnostech zařízení. Pro vstupní zařízení se používají standardní předlohy podle mezinárodní normy ISO 12641 (dříve IT8.7/1 pro transmisní předlohy a IT8.7/2 pro reflexní předlohy). Je to soubor barevných plošek na průhledné či odrazové podložce (obr. 4.9). Pro výstupní zařízení se používají standardní digitální předlohy buď podle normy ISO 12642 (obr. 4.10) nebo standardní digitální předlohy jednotlivých výrobců zařízení a programového vybavení pro správu barev.

5. Literatura

- [1] E. J. Giorgianni, T. E. Madden: *Digital Color Management*, ed. Addison.Wesley, 1997
- [2] K. Třešňák: *Color Management*, Svět tisku 6, 1999, str. 49
- [3] P. Kočíčka: *CMS – Color Management System*, Graphie CZ s.r.o.
- [4] ČSN 01 1718 MĚŘENÍ BAREV, Vydavatelství norem Praha (1990)
- [5] Specification ICC.1.2001-12, File Format for Color Profiles (Version 4.0.0), **[REVISION of ICC.1:2001-04]**, International Color Consortium 2002 (<http://www.color.org/newiccspec.pdf>)
- [6] K. Schlöpfer, W. F. Steiner, J. Gronberg: Capabilities and limitations of colour management systems, zborník konferencie IARIGAI 1997
- [7] R. W. G. Hunt: *Measuring Colour*, sekond edition, Ellis Horwod, London 1995