4. ZÁKLADY NAUKY O BARVĚ

Předmětem nauky o barvě je objektivní hodnocení barvy světla různých světelných zdrojů i barvy pozorovaných předmětů. Jde o náročný úkol, neboť vnímání barev je složitý fyziologicko-psychický proces.

4.1 Barva – vlastnost zrakového vjemu

V nauce o barvě se barva nechápe jako směs pojidla a barviva, ale pojem barva, respektive přesněji vjem barvy, označuje *vlastnost zrakového počitku či vjemu*, která umožňuje pozorovateli zjistit rozdíl mezi dvěma ploškami zorného pole, které mají stejnou velikost, tvar i strukturu, přičemž tento rozdíl má stejnou povahu jako rozdíl, který by vznikl změnou spektrálního složení světla vstupujícího do oka. Pojem barva se užívá v oblasti vjemové (psychosenzorické) pro vyjádření vlastnosti zrakového vjemu. Vjem barvy závisí na vlastnostech zraku, na stavu jeho receptorů, na adaptaci zraku, na jeho únavě, na podmínkách pozorování z hlediska jasu a kontrastu, ale i na psychickém stavu pozorovatele a na jeho psychologii.

Běžně se však pojem barva přenáší i na vlastnost světla a předmětů a hovoří se o barvě světla nebo o barvě předmětů. Přesněji se však barevné vlastnosti světla označují názvem **chromatičnost** a barevné vlastnosti předmětů pak pojmem **kolorita**. Tyto vlastnosti lze jednoznačně vyhodnotit fyzikálně podle spektrálního složení barevného podnětu a spektrální citlivosti zraku k záření různých vlnových délek. *Chromatičnost* je určena spektrálním složením záření vysílaného primárním zdrojem. *Kolorita* je určena spektrálním složením záření zdroje osvětlujícího sledovaný předmět a spektrální odrazností či propustností materiálu předmětu. Chromatičnost a kolorita jsou pojmy psychofyzikální, které vystihují schopnost sledovaného záření vzbudit určitý barevný počitek a kvantitativně jej v určité soustavě vyjadřují na základě spektrálního složení záření vstupujícího do oka a spektrální citlivosti zraku.

Monofrekvenční složky libovolného záření se ve viditelné oblasti spektra vyznačují tím, že budí zcela určitý barevný počitek; tj. záření každého kmitočtu přísluší jednoznačně určitá spektrální barva. Obráceně to však neplatí. Zrakový orgán vnímá záření aditivně a odezvy na monochromatické složky skládá na určitý zrakový vjem barvy. Nemá však schopnost složené záření analyzovat.

4.2 Barevný tón a sytost barvy

Kvalitativní odlišnost vjemu jednotlivých spektrálních barev se nazývá **barevný tón** a vyjadřuje se názvy fialová, modrá, zelená apod. Přibližné oblasti vlnových délek spektrálních barev jsou uvedeny v tab. 4.1. Vnímání určitého barevného tónu je u každého pozorovatele poněkud odlišné a je podmíněno jednak množstvím energie vyzařované v té které oblasti vlnových délek a jednak citlivostí oka.

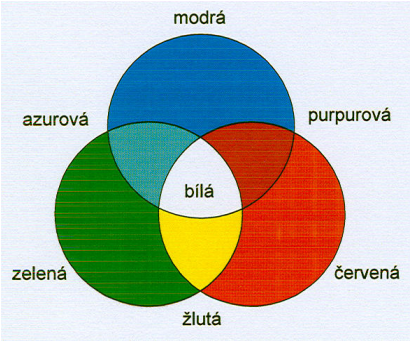
Tab. 4.1

Rozmezí vlnových délek (nm)	**Barevný tón spektrální barvy**
380 – 430	**fialová**
430 – 465	**modrofialová**
465 – 490	**modrá**
490 – 500	**modrozelená**
500 – 560	**zelená**
560 – 575	**zelenožlutá**
575 – 585	**žlutá**
585 – 620	**oranžová**
620 – 770	**červená**

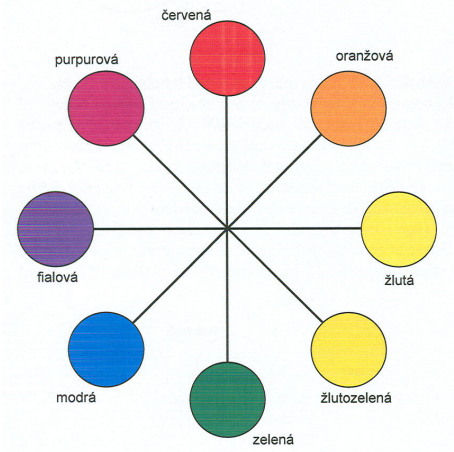
Kromě spektrálních barev, které zjišťujeme ve spektru záření slunce (běžně například při pozorování duhy) či jiných zdrojů, existují tzv. nespektrální barvy. Patří k nim **purpurové barvy**. Nejsou součástí spektra, ani slunečního světla, ani záření jiných zdrojů. Vyznačují se též určitým, tzv. nespektrálním barevným tónem. Purpurové barvy vznikají míšením obou krajních částí spektra viditelného záření, tj. spektrální barvy fialové a červené.

Barvy se dělí na pestré a nepestré. **Pestrá barva** představuje takový vjem barvy, který má barevný tón. K pestrým barvám tedy patří čisté spektrální barvy, purpurové barvy a jejich odstíny vzniklé míšením, například i míšením s barvou bílou. Názvy pestrých barev (zelená, tmavozelená apod.) neoznačují fyzikální vlastnost, ale fyziologicky subjektivní vlastnost vázanou na normálního kolorimetrického pozorovatele. **Nepestré barvy** jsou vjemy barev, které nemají barevný tón a tvoří spojitou řadu od bílé přes šedou až po černou. Rozdíl mezi nepestrými barvami je jen v jejich intenzitě, tj. v hodnotě světelného toku nebo jasu.

Spektrální barvy jsou syté (čisté). **Sytost barvy** udává podíl čisté spektrální či purpurové barvy v dané barvě na celkovém barevném počitku. Sytost se zmenší, smísí-li se spektrální barva např. s barvou bílou. Spektrální barvy mají sytost rovnou jedničce. Bílá, šedá a černá barva mají sytost nulovou.
Vyloučíme-li ze spektra slunečního záření, tedy z bílého světla, oblast odpovídající modrému barevnému tónu, pak zbývající záření vzbudí vjem barvy, jejíž barevný tón bude žlutý. Podobně odfiltrujeme-li zelenou oblast spektra z bílého světla, je barevný tón zbývajícího záření purpurový. Konečně smíšením spektrálních světel, v nichž chybí červená oblast spektra, se získá světlo modrozeleného (lazurového) barevného tónu. Spektrum viditelného záření lze tedy rozdělit na tři části, představující v zásadě tři základní barvy: modrou, zelenou a červenou. Popsané skutečnosti znázorňuje obr. 4.1.



Obr. 4.1 Znázornění principu míšení tří základních barevných podnětů



Obr. 4.2
Příklady dvojic doplňkových barev :

červená – zelená
modrá – oranžová
fialová – žlutá
purpurová – žlutozelená

Je pochopitelné, že smísíme-li základní barvu se světlem ze zbývajících částí spektra, dostaneme bílé světlo. Dvojice barev, které smíšeny ve vhodném poměru dávají bílé (nepestré) světlo různé intenzity, se nazývají **doplňkové** (komplementární) **barvy**. Příklady doplňkových barevných tónů k některým barvám jsou sestaveny na obr. 4.2. Bílé světlo lze tedy vytvořit nejen jako směs všech spektrálních světel, ale i míšením pouze dvou vhodně zvolených světel. Nicméně vjem bílé barvy je stejný bez ohledu na to, jak bylo vytvořeno.

Podle psychologického působení se barvy dělí na **teplé** (např. červená, oranžová, žlutá) a **studené** (např. modrá, zelená, fialová, modrozelená). Stručný přehled o fyzickém, optickém a psychologickém vlivu představitelů obou skupin, oranžové a modrozelené barvy, poskytuje při hladinách osvětlenosti asi do 2000 ℓx tab. 4.2. Při hladinách osvětlenosti nad 2000 ℓx začínají teplé barvy psychologicky působit nepřirozeně, zatím co studené barvy příjemně.

Tab. 4.2 Shrnutí vlivů teplých a studených barev na člověka

Vliv na	Účinek barvy	
	oranžové (teplé)	modrozelené (studené)
fyzickou aktivitu	tlumící	povzbuzující
jasově – optický dojem	světlý	temný
	vystupující	odstupující
citový (psychologický) dojem	teplý	studený
	suchý	vlažný
	zdůrazňující	uklidňující
	aktivní (povzbuzující)	pasivní (tlumící)
	dráždivý	uklidňující

4.3 Barevný podnět

Záření, charakterizované určitým spektrálním složením a světelným tokem či jasem, které vniká do oka pozorovatele a budí barevný počitek, se označuje názvem **barevný podnět**. Spektrální složení barevného podnětu se popisuje křivkou poměrného spektrálního složení barevného podnětu, tj. průběhem závislosti poměrné spektrální hustoty zářivého toku $\varphi_{e\lambda}(\lambda)$ na vlnové délce λ. Hodnoty funkce $\varphi_{e\lambda}(\lambda)$ jsou vztaženy např. k maximální hodnotě $\Phi_{e\lambda max}$ závislosti spektrální hustoty $\Phi_{e\lambda}(\lambda)$ zářivého toku na vlnové délce λ, tj. k veličině

$$\Phi_{e\lambda\max} = \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}\right)_{\max}$$

Poměrná spektrální hustota $\varphi_{e\lambda}(\lambda)$ zářivého toku se v takovém případě stanovuje ze vztahu

$$\varphi_{e\lambda}(\lambda) = \frac{\Phi_{e\lambda}(\lambda)}{\Phi_{e\lambda\max}} = \frac{\left(\frac{d\Phi_{e\lambda}(\lambda)}{d\lambda}\right)_{\lambda}}{\left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}\right)_{\max}} \qquad (4\text{-}1)$$

Při hodnocení barevných vlastností předmětů se pracuje s poměrným spektrálním složením

záření odraženého, tj. s veličinou $\varphi_{e\lambda\rho}(\lambda) = \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot \rho(\lambda)$
nebo propuštěného, tj. s veličinou $\varphi_{e\lambda\tau}(\lambda) = \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot \tau(\lambda)$

Z uvedeného vyplývá, že počitek barvy je fyzikálně určen spektrálním složením barevného podnětu, což je objektivně měřitelná fyzikální realita nezávislá na zrakovém orgánu.

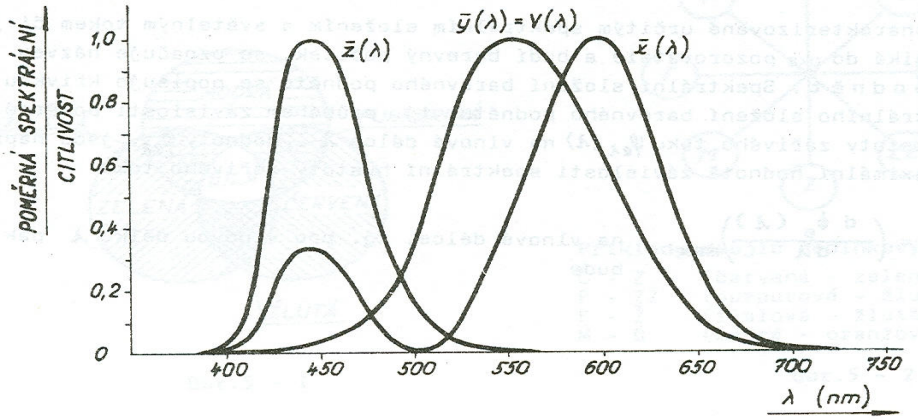
4.4 Trichromatické soustavy

K popisu barev se používá kolorimetrických soustav. Pro přesné charakterizování barev je zapotřebí **tří údajů** např. čísel. Proto bývají kolorimetrické soustavy nazývány také trichromatickými soustavami a jsou založeny na tom, že libovolný barevný podnět lze nahradit adiční směsí tří vhodně zvolených měrných barevných podnětů (světel).
Obecně jsou **měrné barevné podněty** tři lineárně nezávislé, ale jinak libovolně zvolené barevné podněty. Označují se např. Č°, Z°, M° ; R°, G°, B° nebo X°, Y°, Z° apod.

Kolorimetrická množství tří měrných barevných podnětů, jejichž adiční směsí je možno vzbudit stejný barevný vjem jako uvažovaným barevným podnětem, se nazývají **trichromatické složky** a značí se velkými písmeny např. Č, Z, M; R, G, B nebo X, Y, Z apod.

K výpočtu trichromatických složek se využívá **kolorimetrických koeficientů** (dříve nazývaných trichromatické členitele), označovaných např. $\bar{c}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, $\bar{m}(\lambda)$; $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ nebo $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ apod., což jsou poměrná kolorimetrická množství měrných barevných podnětů (světel) dané soustavy, jimiž se popisuje monochromatická složka izoenergetického spektra, tedy spektra charakterizovaného konstantní hodnotu zářivého toku v oblasti sledovaných vlnových délek, tj. $\Phi_e(\lambda)$ = konst.

Souhrn kolorimetrických koeficientů pro všechny vlnové délky vytváří křivky trichromatických koeficientů, např. viz obr. 4.3, kde jsou nakresleny křivky kolorimetrických koeficientů pro soustavu X, Y, Z. Vybrané číselné hodnoty těchto koeficientů jsou uvedeny v tab. 4.3. V podstatě se tedy uvažuje existence tří přijímačů záření s poměrnými spektrálními citlivostmi rovnými odpovídajícím kolorimetrickým koeficientům.



Obr. 4.3 Spektrální průběhy kolorimetrických koeficientů trichromatické soustavy XYZ

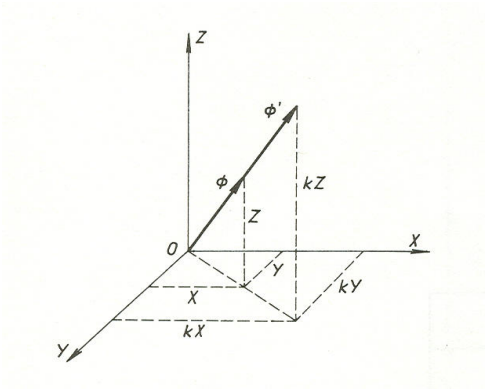
Tab. 3 Hodnoty kolorimetrických koeficientů normálního kolorimetrického pozorovatele v trichromatické soustavě XYZ (podle ČSN 011718)

λ (nm)	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
380	0,0014	0,0000	0,0065
390	0,0042	0,0001	0,0201
400	0,0143	0,0004	0,0679
410	0,0435	0,0012	0,2074
420	0,1344	0,0040	0,6456
430	0,2839	0,0116	1,3856
440	0,3483	0,0230	1,7471
450	0,3362	0,0380	1,7721
460	0,2908	0,0600	1,6692
470	0,1954	0,0910	1,2876
480	0,0956	0,1390	0,813
490	0,0320	0,2080	0,4652
500	0,0049	0,3230	0,2720
510	0,0093	0,5030	0,1582
520	0,0633	0,7100	0,0782
530	0,1655	0,8620	0,0422
540	0,2904	0,9540	0,0203
550	0,4334	0,9950	0,0087
560	0,5945	0,9950	0,0039
570	0,7621	0,9520	0,0021
580	0,9163	0,8700	0,0017
590	1,0263	0,7570	0,0011
600	1,0622	0,6310	0,0008
610	1,0026	0,5030	0,0003
620	0,8544	0,3810	0,0002
630	0,6424	0,2650	0,0000
640	0,4479	0,1750	0,0000
650	0,2835	0,1070	0,0000
660	0,1649	0,0610	0,0000
670	0,0874	0,0320	0,0000
680	0,0468	0,0170	0,0000
690	0,0227	0,0082	0,0000
700	0,0114	0,0041	0,0000
710	0,0058	0,0021	0,0000
720	0,0029	0,0010	0,0000
730	0,0014	0,0005	0,0000
740	0,0007	0,0003	0,0000
750	0,0003	0,0001	0,0000
760	0,0002	0,0001	0,0000
770	0,0001	0,0000	0,0000

Trichromatické složky lze vypočítat násobením z rovnice (4-1) určené poměrné spektrální hustoty zářivého toku $\varphi_{e\lambda}(\lambda)$ barevného podnětu kolorimetrickými koeficienty a integrací těchto součinů v celé oblasti spektra.

Např. v soustavě XYZ se složky X, Y, Z stanoví z výrazů

$$X = \int_0^\infty \varphi_{e\lambda}(\lambda).\bar{x}(\lambda).d\lambda \qquad Y = \int_0^\infty \varphi_{e\lambda}(\lambda).\bar{y}(\lambda).d\lambda \qquad Z = \int_0^\infty \varphi_{e\lambda}(\lambda).\bar{z}(\lambda).d\lambda \qquad (4\text{-}2)$$



Obr. 4.4 Prostorové znázornění podnětů Φ a Φ′ v soustavě XYZ

Tři údaje charakterizující barevný podnět – barevný tón, sytost barvy a intenzita (světelný tok nebo jas) barvy – jsou tedy určeny třemi nezávislými složkami trichromatické soustavy, např. X, Y, Z, které je možno znázornit v trojrozměrné pravoúhlé soustavě souřadnic (viz obr. 4.4).

V takto vzniklém tříbarevném prostoru jsou základní barvy všech intenzit znázorněny osami souřadnic např. X, Y, Z. Různé barevné tóny (všech intenzit) jsou vyjádřeny přímkami procházejícími počátkem 0. Světelný tok resp. jas barevného podnětu je však úměrný algebraickému součtu trichromatických složek (X+Y+Z) a není tedy určen velikostí vektoru **Φ**.

Barevné podněty **Φ** a **Φ'**, které mají stejný barevný tón a stejnou sytost, leží na stejné přímce procházející počátkem. Jsou-li jejich světelné toky úměrné, **Φ'** = k . **Φ** , pak i pro složky platí

X' = k X, Y' = k Y a Z' = k Z.

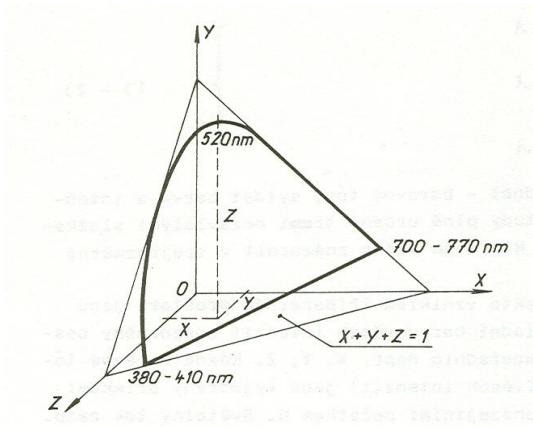
Na základě uvedeného lze barevný podnět se světelným tokem **Φ** v pravoúhlé souřadnicové soustavě, např. X Y Z, popsat **kolorimetrickou rovnicí** ve tvaru

$$\vec{\Phi} = X\,\vec{X}^0 + Y\,\vec{Y}^0 + Z\,\vec{Z}^0 \qquad (4\text{-}3)$$

kde $\vec{X}^0$, $\vec{Y}^0$, $\vec{Z}^0$ jsou jednotkové podněty orientované ve směru os ve zvolené pravoúhlé souřadnicové soustavě.

4.5 Trojúhelník barev – diagram chromatičnosti

Prostorové zobrazení je však nepraktické.
Protne-li se prostorová soustava X Y Z rovinou vytínající na osách stejné úseky (např. rovina, pro níž též platí vztah X + Y + Z = 1; viz obr. 4.5), dostane se v kolorimetrickém prostoru **trojúhelník barev**. V něm čisté spektrální barvy leží na křivce uzavřené mezi stranami trojúhelníku a každý bod uvnitř této křivky popisuje jednu barvu.
Hodnotí-li se barevné podněty pouze z hlediska tónu a sytosti bez ohledu na jejich jas či světelný tok, pak k jejich znázornění stačí rovinný diagram. Obvykle se pracuje s průmětem zmíněné jednotkové roviny (X + Y + Z = 1) do souřadnicové roviny X Y.

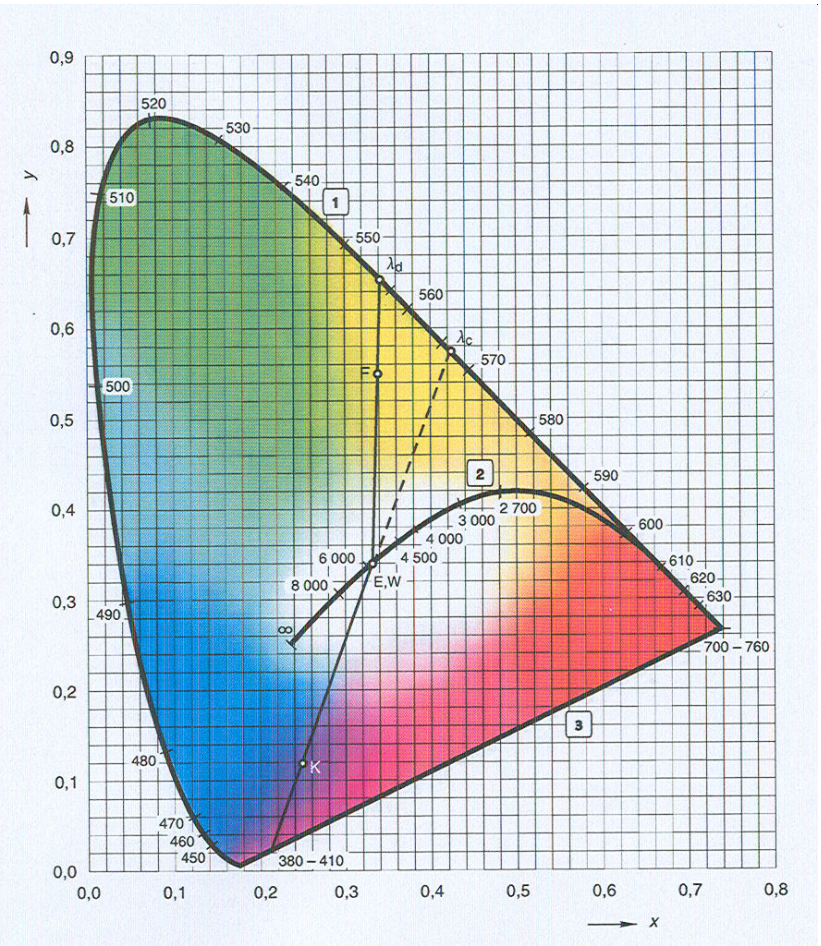


Obr. 4.5

Trichromatické souřadnice (obvykle se značí malými písmeny, tj. např. x, y, z) jsou rovny podílu trichromatických složek a jejich součtu. Tedy např. v soustavě XYZ pro trichromatické souřadnice platí

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad ; \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad ; \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \qquad (4\text{-}4)$$

Přitom součet trichromatických souřadnic musí být roven 1, tj. např. $x + y + z = 1$. Běžně proto stačí pracovat pouze se dvěma souřadnicemi (např. x, y).
Normální trojúhelník barev (**diagram chromatičnosti**) CIE s pravoúhlými souřadnicemi x, y je nakreslen na obr.4.6.



Obr. 4.6

Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ v pravoúhlých souřadnicích x, y.

1 – křivka spektrálních světel s vyznačenými vlnovými délkami v nm,

2 – čára teplotních zářičů se stupnicí v kelvinech (K),

3 – přímka purpurů (spojnice koncových bodů křivky spektrálních světel),

W – bod charakterizující chromatičnost bílého smluvního světla,

F – příklad bodu chromatičnosti světla vzniklého míšením spektrálního světla určeného náhradní vlnovou délkou λ_d s bílým smluvním světlem W,

K – příklad bodu chromatičnosti purpurového podnětu, který smíšen se spektrálním světlem doplňkové délky λ_c dává bílé smluvní světlo W.

V mezinárodni kolorimetrické soustavě (X Y Z) se volí měrná světla fyzikálně nerealizovatelná, a to proto, že v takovém případě jsou trichromatické složky a tedy i souřadnice všech reálných barev kladné. Hodnoty kolorimetrických koeficientů (viz tab. 3) se považují za základní čísla, definující soustavu X Y Z, platí pro normálního fotometrického pozorovatele a používají se [6] při pozorování v zorném úhlu do 4°. Při pozorování v úhlu větším než 4° (tyto poměry převažuji při pozorování povrchových barev) se však při výpočtech používá [6] kolorimetrických koeficientů $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ tzv. doplňkového kolorimetrického pozorovatele.

Měrná světla soustavy X Y Z byla stanovena tak, aby hodnoty kolorimetrického koeficientu $\bar{y}(\lambda)$ byly shodné s hodnotami poměrné spektrální citlivosti V(λ) normálního fotometrického pozorovatele. Proto je v soustavě X Y Z trichromatická složka Y úměrná světelnému toku, respektive jasu barevného podnětu. Např. jas daného barevného podnětu se pak v této soustavě snadno vypočte ze vztahu

$$L = 683 \cdot Y \qquad (\mathrm{cd.m^{-2}}) \qquad (4\text{-}5)$$

kde Y je trichromatická složka určená z rovnic (4.2).

4.6 Rovnoměrné kolorimetrické soustavy

V kolorimetrickém prostoru XYZ i v jeho rovinném řezu (tj. v kolorimetrickém trojúhelníku x y) neodpovídají v různých místech stejné lineární vzdálenosti stejným subjektivně vnímaným rozdílům vjemu barvy. Tam, kde je třeba rozdíly chromatičnosti světel či kolority předmětů popsat charakteristikami odpovídajícími subjektivnímu vjemu, používá se tzv. **rovnoměrných kolorimetrických prostorů**, či diagramů.

Mezinárodně jsou takové soustavy od r.1976 normalizovány dvě:

1) soustava L* u* v* (zkráceně označovaná **CIE LUV**)
2) soustava L* a* b* (zkráceně označovaná **CIE LAB**).

Číselné hodnoty kolorimetrických soustav CIE LUV a CIE LAB jsou jen přibližně srovnatelné, ale nejsou vzájemné převoditelné. V oboru světelných zdrojů a barevných signálů, ve fotografii, v televizní a polygrafické reprodukci barev se všeobecně používá soustavy CIE LUV, zatím co při hodnocení textilních materiálů připadá v úvahu pouze soustava CIE LAB.
V soustavě CIE LUV jsou kolorimetrické souřadnice obecně označeny písmeny u* v*. Pro případ konstantní veličiny L^* (tzn. pro barvy se stejnou subjektivní světlostí) má soustava CIE LUV přibližně rovnoměrný kolorimetrický trojúhelník (diagram chromatičnosti) v souřadnicích označených u', v' , který je projektivní transformací známého trojúhelníku v souřadnicích x, y (soustava CIE 1931).
Trojúhelníku u', v' se běžně používá pro znázornění barev v rovině.

V pravoúhlém rovnoměrném prostoru jsou veličiny L* u* v* určeny vztahy

$$L^* = 116 \left[\frac{Y}{Y_n} \right]^{\frac{1}{3}} - 16 \qquad \text{pro} \qquad \frac{Y}{Y_n} \rangle\ 0{,}008856$$

$$L^* = 903{,}3\ \frac{Y}{Y_n} \qquad \text{pro} \qquad \frac{Y}{Y_n} \leq 0{,}008856 \qquad (4\text{-}6)$$

$$u^* = 13 \,.\, L^* \,(u' - u'_n) \qquad v^* = 13 \,.\, L^* \,(v' - v'_n)$$

Při čemž trichromatické souřadnice u', v' popisovaného barevného podnětu, resp. u'_n, v'_n použitého normalizovaného světla se stanoví z výrazů

$$u' = \frac{4\,X}{X + 15\,Y + 3\,Z} \qquad v' = \frac{9\,Y}{X + 15\,Y + 3\,Z} \qquad (4\text{-}7)$$

$$u'_n = \frac{4\,X_n}{X_n + 15\,Y_n + 3\,Z_n} \qquad v'_n = \frac{9\,Y_n}{X_n + 15\,Y_n + 3\,Z_n} \qquad (4\text{-}8)$$

kde X, Y, Z jsou trichromatické složky popisovaného barevného podnětu v soustavě X Y Z
X_n, Y_n, Z_n jsou trichromatické složky pro výpočet použitého normalizovaného světla upravené tak, aby pro dokonalý rozptylovač platilo $Y_n = 100$.
Tabulky kolorimetrických koeficientů pro různá normalizovaná světla jsou v [6].
Vzdálenost ΔE^*_{uv} dvou bodů barev vzdálených od sebe ve směru jednotlivých souřadnicových os o hodnoty veličin ΔL^*, Δu^*, Δv^* se vypočte ze vztahu

$$\Delta E^*_{uv} = \sqrt{\left(\Delta L^*\right)^2 + \left(\Delta u^*\right)^2 + \left(\Delta v^*\right)^2} \qquad (4\text{-}9)$$

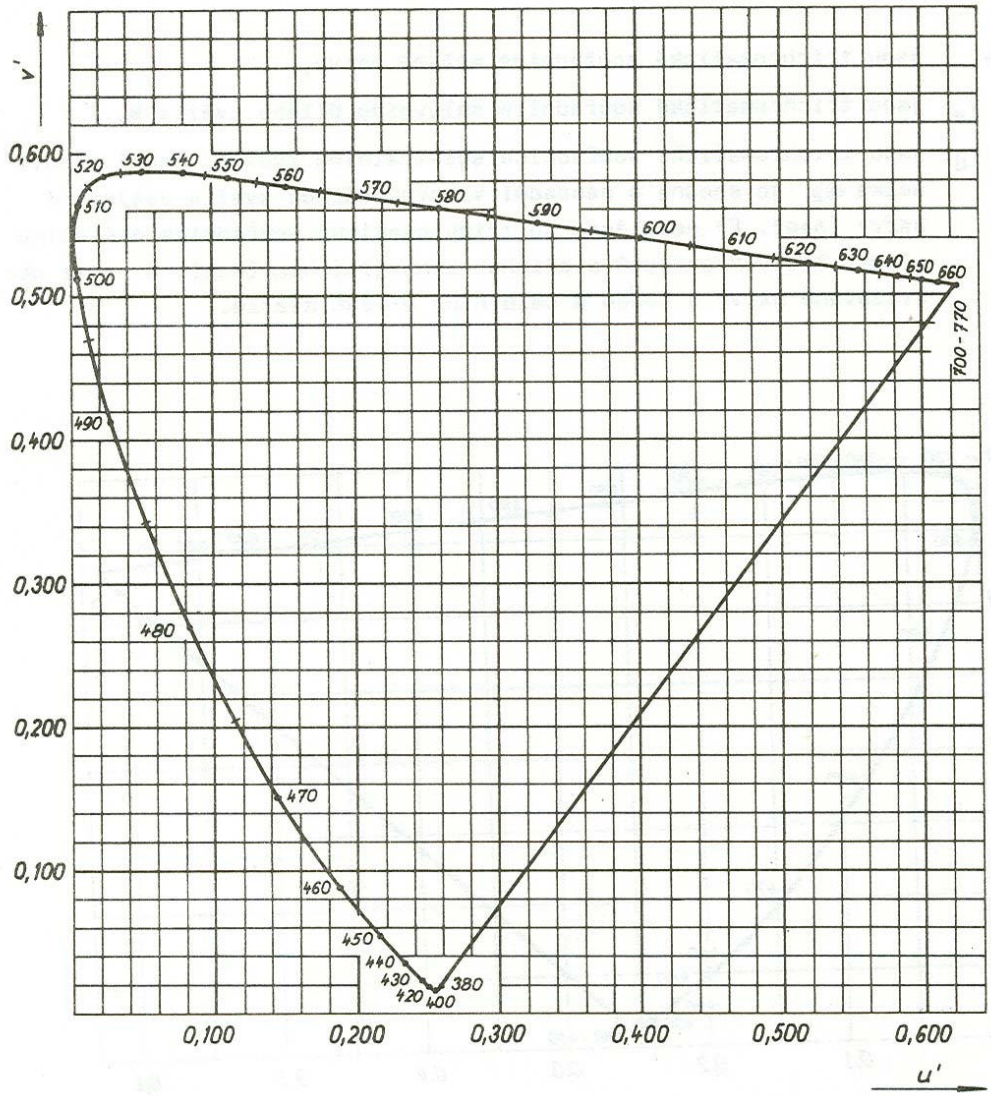
Rovnice (4-9) dobře vystihuje subjektivní rozdíl barvy dvou ploch stejné velikosti a tvaru, které na bílém či světle šedém podkladu rozlišuje pozorovatel fotopicky adaptovaný na osvětlení, jehož spektrální složení je málo odlišné od spektrálního složení použitého normalizovaného světla. Pro konstantní L^* se dostane přibližně rovnoměrný kolorimetrický trojúhelník (diagram chromatičnosti) u', v' (viz obr. 4.7).
Souřadnice u', v' se zjistí ze vztahů (4-7) resp. při použití souřadnic x, y z výrazů

$$u' = \frac{4\,x}{-2x + 12y + 3} \qquad v' = \frac{9y}{-2x + 12y + 3} \qquad (4\text{-}10)$$

Nicméně přímý výpočet souřadnic u', v' z trichromatických složek podle rovnice (7) je méně zatížen chybou ze zaokrouhlování při přepočtu trichromatických složek na trichromatické souřadnice.

Od dřívější normalizované soustavy CIE-uv z roku 1960, resp. CIE-UVW z r.1964 (souřadnice u,v) se soustava CIE-LUV (z r. 1976 se souřadnicemi označenými u* , v*, resp. pro konstantní jas L^* značenými u', v') liší pouze koeficientem (číslem 9 místo původního čísla 6) v čitateli vzorce pro výpočet souřadnice v [viz rovnice (4-7), resp. (4-10)]. Vztahy pro výpočet souřadnic u a u' jsou stejné.

Až do odvolání je zatím povoleno soustavu u v i nadále používat, zejména s ohledem na plynulou návaznost na dosavadní hodnocení, jako je tomu například při stanovování indexu barevného podání pro charakterizování světla vyzařovaného různými primárními světelnými zdroji. Pro porovnání s diagramem chromatičnosti u', v' nakresleným na obr. 4.7 je na následujícím obr. 4.8 znázorněn rovnoměrný kolorimetrický trojúhelník v souřadnicích u v dřívější soustavy CIE UVW.



Obr. 4.7 Rovnoměrný kolorimetrický trojúhelník v souřadnicích u', v' v soustavě CIE LUV (1976)

Druhá normalizovaná přibližně rovnoměrná soustava CIE z r.1976 je L* a* b*, zkráceně označovaná CIE LAB. V pravoúhlém rovnoměrném prostoru L* a* b* se na osy vynášejí hodnoty veličin L*, a*, b* určené vztahy

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16\,; \quad a^* = 500\left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right]; \quad b^* = 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right] \qquad (4\text{-}11)$$

kde $f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}}$ pro $\frac{X}{X_n} > 0{,}008856$

$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = 7{,}787\left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{16}{116}$ pro $\frac{X}{X_n} \leq 0{,}008856$

$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}}$ pro $\frac{Y}{Y_n} > 0{,}008856$

$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = 7{,}787\left(\frac{Y}{Y_n}\right) + \frac{16}{116}$ pro $\frac{Y}{Y_n} \leq 0{,}008856$

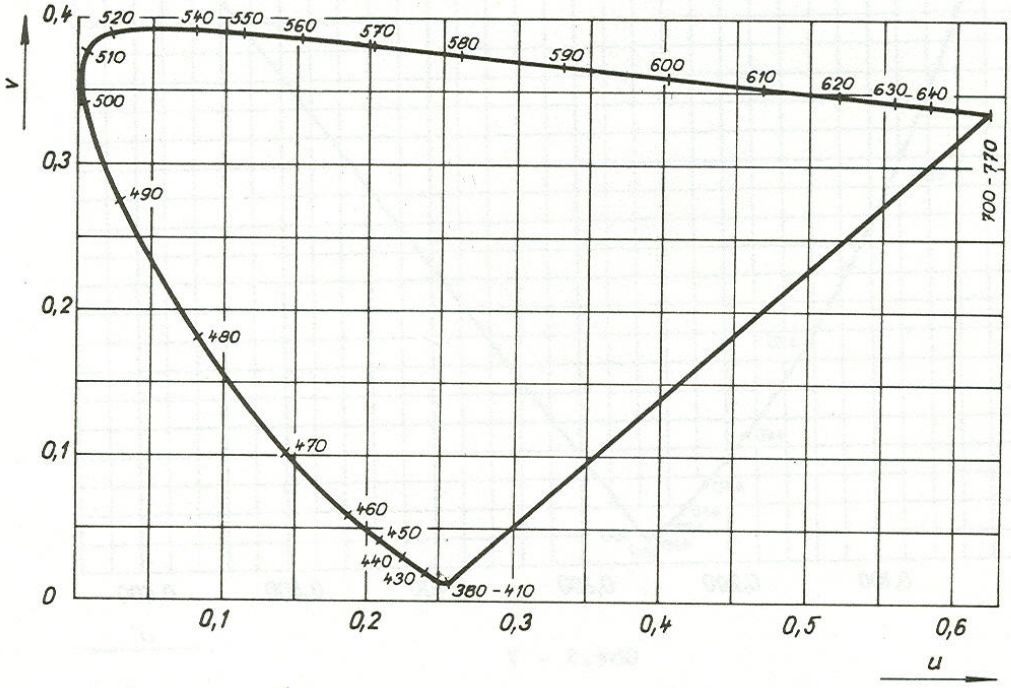
$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad \text{pro} \quad \frac{Z}{Z_n} > 0{,}008856$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = 7{,}787\left(\frac{Z}{Z_n}\right) + \frac{16}{116} \qquad \text{pro} \quad \frac{Z}{Z_n} \leq 0{,}008856$$

Význam X, Y, Z a X_n, Y_n, Z_n je stejný jako v rovnicích (4-6).
Vzdálenost ΔE^*_{ab} dvou bodů barev vzdálených od sebe ve směru jednotlivých souřadnicových os o ΔL^*, Δa^*, Δb^* se stanoví ze vztahu

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \qquad (4\text{-}12)$$

Rovnice (12) platí za obdobných podmínek jako vztah (4-9).



Obr. 4.8 Rovnoměrný kolorimetrický trojúhelník v souřadnicích *u v* dřívější soustavy CIE UVW (1964)

Důležité je poznamenat, že vynese-li se souřadnice b^* v závislosti na souřadnici a^* do pravoúhlé soustavy souřadnic, neodpovídají takto vzniklé body určité barvě, neboť jejich poloha závisí na velikosti veličiny L*.
Přímky v diagramu x,y se pro L* = konst. v diagramu a^*, b^* stávají obvykle křivkami, ale v diagramu u^*, v^*, resp. u', v' zůstávají takové přímky přímkami, což je podstatné z hlediska aditivního míšení barev.

4.7 Přirozené barevné souřadnice

V soustavě tzv. **přirozených** (Helmholtzových) **barevných souřadnic** se barva popisuje náhradní λ_d (popřípadě doplňkovou λ_c) vlnovou délkou (udávající tón barvy), souřadnicovou či kolorimetrickou čistotou (udávající sytost barvy) a jasem, popřípadě též činitelem odrazu či prostupu (určujícím světlost barvy).

Náhradní vlnová délka je vlnová délka spektrálního (monochromatického) světla, které smíšeno ve vhodném poměru s určitým ne pestrým světlem dává světlo stejné chromatičnosti jako má uvažované světlo. V barevném diagramu (viz obr. 4.6) je náhradní vlnová délka λ_d určena průsečíkem čáry spektrálních barev (s vyznačenými vlnovými délkami) a spojnice bodů *W* smluvního bílého světla

a F dané barvy. Pro purpury není možno náhradní vlnovou délku stanovit a proto se pro ně udává vlnová délka doplňková.

Doplňková vlnová délka λ_c je vlnová délka spektrálního monochromatického světla, které smíšeno ve vhodném poměru s daným barevným podnětem vzbudí stejný barevný vjem jako zvolené nepestré světlo.

V diagramu chromatičnosti (viz obr. 4.6) je doplňková vlnová délka λ_c určena průsečíkem čáry spektrálních barev se spojnicí bodů K dané barvy a M smluvního bílého světla. Na prodloužené spojnici bodů F a W (a to na opačné straně od bodu W než je bod F) leží tzv. **kompenzační barvy**. Zvláštním případem barvy kompenzační je **barva komplementární** (*doplňková*), která smíšená ve vhodném poměru s danou barvou dává nepestrou (neutrální) barvu (bílou, šedou, popřípadě až černou), které se liší pouze jasem barevného podnětu (viz obr. 4.2).

Další veličinou nutnou k popisu barvy v soustavě přirozených souřadnic je vedle náhradní vlnové délky veličina, kterou se fyzikálně ocení sytost barvy. Psychosensorickému pojmu sytost barvy odpovídá psychofyzikální pojem **čistota,** a to buď souřadnicová p_e nebo kolorimetrická p_c, které jsou definovány vztahy

$$p_e = \frac{y - y_w}{y_d - y_w} = \frac{x - x_w}{x_d - x_w} \quad ; \qquad p_c = p_e \frac{y_d}{y} \tag{4-13}$$

kde x, y jsou trichromatické souřadnice měřené barvy,
x_w, y_w jsou trichromatické souřadnice smluvního bílého světla K,
x_d, y_d jsou trichromatické souřadnice spektrálního světla, jehož vlnová délka λ_d shodná s náhradní vlnovou délkou světla uvažované barvy (např. F) nebo jsou to trichromatické souřadnice průsečíku přímky čistých purpurů s přímkou spojující bod (např. K - viz obr.4-6) uvažované barvy s bodem W smluvního bílého světla.

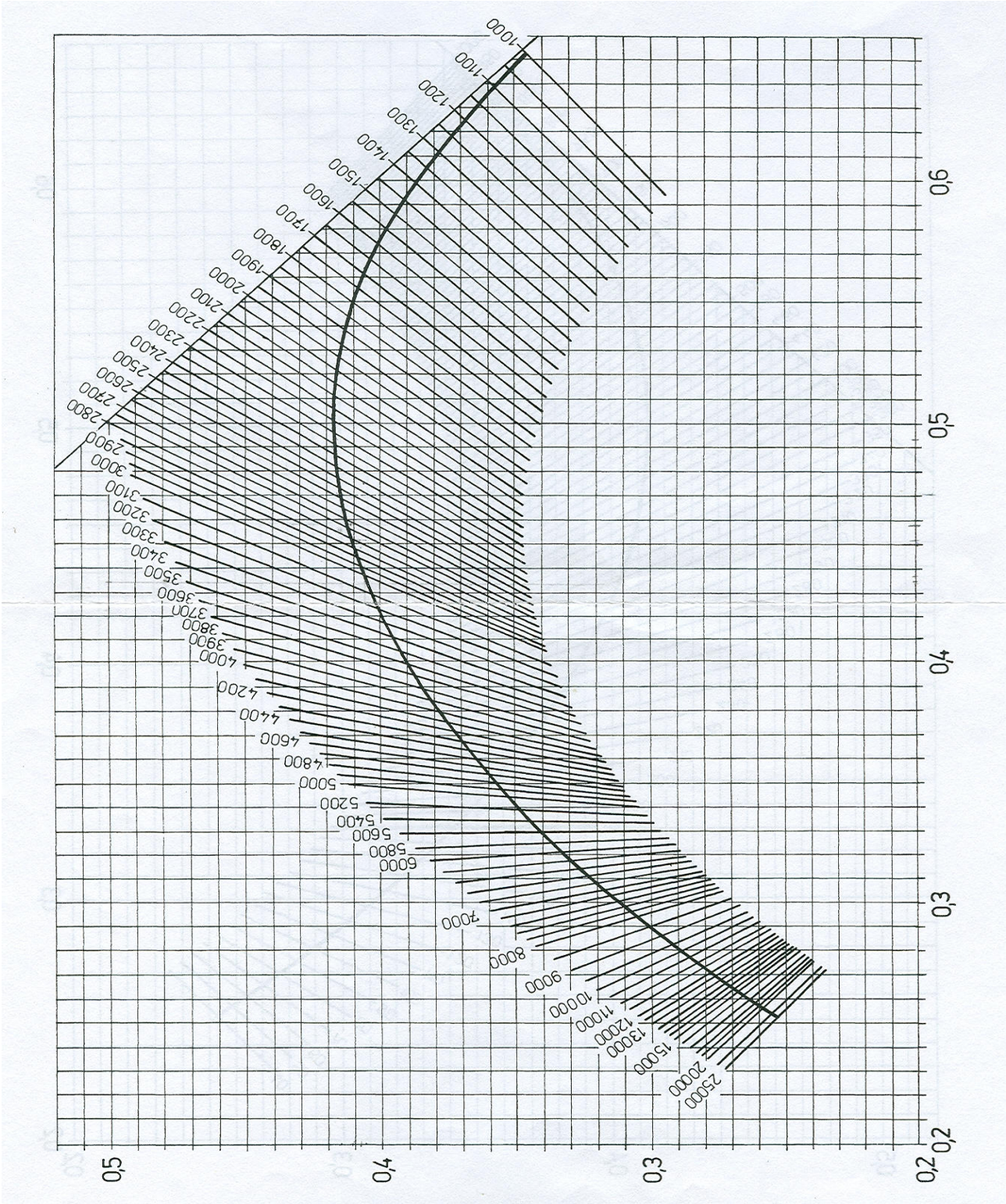
4.8 Teplota chromatičnosti

Nebereme-li v úvahu světelný tok, resp. jas zdroje, lze k popisu barvy či k vystižení barevných vlastností světla vyzařovaného teplotními zdroji využít kromě zmíněných trichromatických souřadnic (např. x, y) též teploty chromatičnosti. **Teplota chromatičnosti** T_c je rovna teplotě černého zářiče, jehož záření má tutéž chromatičnost jako uvažované záření. Obvykle se udává v kelvinech (K).
Často se však pracuje s převrácenou hodnotou T_c v kelvinech násobenou 10^6, tj. s veličinou ($10^6 / T_c$) udávanou v převrácených megakelvinech (MK^{-1}).

Čára teplotních zářičů s vyznačenými hodnotami teploty chromatičnosti T_c je zakreslena v diagramu chromatičnosti na obr. 6 a podrobněji pak s čarami konstantních teplot chromatičnosti T_c (K) na obr. 4.9 .

Pokud záření uvažovaného zdroje odpovídá teplotnímu zářiči jen přibližně, ale křivka spektrálního složení jeho záření je plynulá bez prudkých změn, lze barvu světla takového zdroje popsat **ekvivalentní** teplotou chromatičnosti T_e.

Pro zdroje, jejichž křivka spektrálního složení vykazuje prudké změny (výrazné pásma, čáry - výbojové zdroje), je možno k přibližnému popsání barvy využít pojmu **náhradní** teplota chromatičnosti T_n . Náhradní teplota chromatičnosti je definována teplotou chromatičnosti odpovídající bodu, který leží na čáře teplotních zářičů nejblíže bodu, který znázorňuje chromatičnost (např. určenou souřadnicemi x, y) uvažovaného světla, za předpokladu, že se vzdálenost sleduje v rovnoměrném obrazci chromatičnosti. Stanovení ekvivalentní T_e a náhradní teploty chromatičnosti T_n usnadňuje diagram na obr. 4.9, v němž jsou zakresleny čáry konstantních teplot chromatičnosti. Diagram byl sestrojen transformací soustavy normál na křivku teplotních zářičů v rovnoměrném diagramu chromatičnosti.



Obr. 4.9 Diagram v souřadnicích x, y pro stanovení teploty chromatičnosti v kelvinech s čarou teplotních zářičů a s vyznačenými čarami konstantních teplot chromatičnosti (K)

4.9 Princip adičního míšení barev

Uvažme dva barevné podněty Φ_1 a Φ_2 charakterizované v soustavě XYZ trichromatickými složkami X_1 Y_1 Z_1 a X_2 Y_2 Z_2. Jejich adičním míšením vznikne výsledný Φ_v barevný podnět, který bude popsán trichromatickými složkami X_v Y_v Z_v rovnými součtu dílčích složek, tj.

$$X_v = X_1 + X_2 \qquad Y_v = Y_1 + Y_2 \qquad Z_v = Z_1 + Z_2 .$$

Trichromatické souřadnice x_v y_v výsledného barevného podnětu se vypočtou z výrazů

$$x_v = \frac{X_v}{X_v + Y_v + Z_v} = \frac{X_1 + X_2}{\sigma_1 + \sigma_2} = \frac{x_1 \sigma_1 + x_2 \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \qquad (4\text{-}14)$$

$$y_v = \frac{Y_v}{Y_1 + Y_2} = \frac{Y_1 + Y_2}{\sigma_1 + \sigma_2} = \frac{y_1 \sigma_1 + y_2 \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \qquad (4\text{-}15)$$

kde značí $\sigma_1 = X_1 + Y_1 + Z_1$, $\sigma_2 = X_2 + Y_2 + Z_2$, $\sigma_1 + \sigma_2 = X_1 + Y_1 + Z_1 + X_2 + Y_2 + Z_2$
$x_1 = X_1 / \sigma_1$, $x_2 = X_2 / \sigma_2$, $y_1 = Y_1 / \sigma_1$, $y_2 = Y_2 / \sigma_2$

Při grafickém znázornění v diagramu chromatičnosti (obr. 6) leží bod Φ_v charakterizující výsledný barevný podnět na přímce spojující body Φ_1 a Φ_2 charakterizující chromatičnosti obou míšených barevných podnětů. Při tom poměr vzdálenosti a bodu Φ_v od bodu Φ_1 ke vzdálenosti b bodu Φ_v od bodu Φ_2 je v převráceném poměru součtu složek míšených záření, tj. $a / b = \sigma_2 / \sigma_1$.

4.10 Vzorníky barev

Z uvedeného je zřejmé, že popis barev popsanými kolorimetrickými soustavami je pro praktickou reprodukci barev obtížně využitelný, neboť realizace barevných vzorků podle jejich trichromatických souřadnic, resp. složek vyžaduje speciální technické vybavení, a i tak je velmi náročná. V některých zemích byly proto vypracovány atlasy (vzorníky) barev natištěné na papírových nebo plastových podložkách.

Jedním z nejznámějších atlasů barev je **Munsellův atlas** používaný v praxi k určování kolority (barev) předmětů pozorovaných v denním světle. Barevné vzorky jsou v tomto systému určeny třemi údaji, a to :

1) barevným tónem (hue), 2) světlostí (value) 3) sytostí (chroma).

Každý z uvedených parametrů má svou stupnici hodnot.

Stupnice barevných tónů obsahuje pět základních barev, a to červenou (R - red), žlutou (Y - yellow), zelenou (G - green), modrou (B - blue) a purpurovou (P - puple), a dále pět mezilehlých barev žlutočervenou (YR), zelenožlutou (GY), modrozelenou (BG), purpurově modrou (PB) a červeno purpurovou (RP).

Aby členění bylo podrobnější, je mezi dvojice zmíněných deseti barevných vzorků vloženo ještě dalších deset barevných odstínů odlišených číslicí od 0 do 10, která se v symbolu barvy umísťuje před písmeno označující název nejbližší základní nebo mezilehlé barvy. Např. 4R nebo 7BG. Při tom číslice 5 označuje jednu ze základních nebo mezilehlých barev.

Světlost barvy, která je vlastně jasností barvy v rovnoměrné fyziologické stupnici, se vystihuje číslem v rozmezí od 0 do 10 (0 - černá, 10 - bílá) v závislosti na činiteli odrazu povrchu daného vzorku.

Sytost barvy se v tomto případě charakterizuje podle podílu bílé nepestré barvy v dané barvě a označuje se počtem barevných odstínů ležících mezi daným barevným vzorkem a příslušnou nepestrou barvou.

Stupnice jsou voleny tak, aby v podmínkách denního osvětlení bylo dosaženo rovnoměrných vzdáleností při subjektivním vnímání rozdílu barvy, změní-li se světlost o 1 stupeň, sytost o dva stupně a barevný tón o 3 stupně. Z tohoto důvodu je počet stupňů sytosti rozdílný pro různé barevné tóny. Počet rozlišitelných barev mezi nepestrou bílou a sytou barvou při stejné jasnosti závisí na barevném tónu; např. je větší pro žlutou a červenou než pro modrou. Kromě toho je třeba vzít v úvahu, že se Munsellův systém týká pouze barev (kolorit) povrchů a proto je počet stupňů na škále sytosti závislý také na světlosti.

Soubor pečlivě standardizovaných vzorků barev bývá zpravidla uspořádán ve formě knihy barevných tabulek, kde každá tabulka má konstantní barevná tón.

Libovolná barva je jednoznačně určena třemi parametry uváděnými v pořadí barevný tón a světlost lomená sytostí (světlost/sytost). Např. sytá rumělka se značí 5R 5/12, nesytá růžová (se stejným barevným tónem jako předchozí barva) má symbol 5R 8/4, černá N 1/0, bílá N 9/0.

4.11 Jakost podání barev a chromatičnost světla zdrojů

Jakost podání barev povrchů pozorovaných předmětů je podmíněna chromatičností světla světelných zdrojů ovlivňují zrakový výkon a zrakovou pohodu. I tyto údaje je proto třeba přiřadit k významným ukazatelům celkové kvality osvětlení. Proto je nedílnou součástí světelně technického projektu i barevná úprava prostředí, která spočívá jak ve vhodném barevném sladění povrchů pozorovaných předmětů, tak ve výběru správné barevné jakosti světla použitých zdrojů světla. Přitom je nutno vycházet z charakteru činnosti v uvažovaném prostředí a zvláště pak z potřebné zrakové orientace. Přihlížet je třeba i ke zkreslení barev ve světle různých světelných zdrojů ve srovnání s vjemem barvy v přírodním světle.

Na citový stav člověka mají vliv jak jednotlivé barvy, tak i kombinace barev. I když posouzení harmonických kombinací barev je individuální, lze říci, že harmonické barvy působí příjemné pocity, zatím co disharmonické kombinace vyvolávají nelibost. Barevnost prostředí ovlivňuje i prostorový dojem prostředí. Méně jasné, méně syté barvy a studené tóny barev zvětšují celkový prostorový vjem, kdežto jasné, syté barvy a teplé tóny celkový prostorový vjem zmenšují.

Psychologické působení světla zdrojů, barevných ploch či předmětů a jakost jejich barevného vjemu závisí na teplotě chromatičnosti $\mathbf{T_c}$ světla zdrojů a na indexu podání barev $\mathbf{R_a}$ a je podmíněno i výší hladiny osvětlenosti.

Pro účely osvětlování se světelné zdroje rozdělují jednak podle barevného tónu jejich světla a podle teploty chromatičnosti, resp. náhradní teploty chromatičnosti výbojových zdrojů, do tří skupin, jak je patrno z tab.4.4 a jednak podle jakosti podání barev charakterizované indexem podání barev $\mathbf{R_a}$ až do pěti skupin (viz tab.4.5, kde je shrnuto členění uváděné v dříve platných normách ČSN a DIN).

Tab.4 .4 Třídění světelných zdrojů podle chromatičnosti světla

Rozmezí teplot chromatičnosti (K)	Barevný tón světla	světelné zdroje
< 3300	teple bílý	žárovky, halogenové žárovky, zářivky (teple bílé), výbojky vysokotlaké sodíkové, halogenidové výbojky
3300 až 5300	bílý	zářivky (bílé) výbojky rtuťové s luminoforem výbojky halogenidové
> 5300	denní	zářivky (denní) výbojky rtuťové čiré halogenidové výbojky

Z tab.4.4 vyplývá, že výbojové zdroje, zejména zářivky, mohou podle jejich provedení a druhu použitého luminoforu patřit do kterékoliv z uvedených skupin, čímž je umožněno pro ten který osvětlovaný prostor volit vhodný světelný zdroj.

Tab.4.5
Členění světelných zdrojů
podle stupně jakosti podání barev a barevného tónu světla
[podle dřívějších předpisů ČSN 360450 a DIN 5035]

Stupeň jakosti podání barev		Rozsah všeobecného indexu podání barev	Barevný tón světla	Požadavky na podání barev
ČSN *) 360450	DIN *) 5035			
1	1A	$R_a \geq 90$	teple bílý denní	velmi vysoké
2	1B	$80 \leq R_a < 89$	teple bílý bílý bílý denní	vysoké
3	2A	$70 \leq R_a < 79$	teple bílý bílý, denní	střední
	2B	$60 \leq R_a < 69$		
4	3	$40 \leq R_a < 59$	teple bílý bílý, denní	malé
5	4	$20 \leq R_a < 40$	teple bílý	velmi nízké

*) V současnosti jsou normy ČSN 360450 a německá norma DIN 5035 nahrazeny normou evropskou.
V ČR platí norma ČSN EN 12464-1 a její národní příloha Z1.
Ve vnitřních pracovních prostorech se dnes vesměs požaduje $\boldsymbol{R_a \geq 80}$.

K údajům v tab.4.4 a 4.5 je třeba poznamenat, že vyšší požadavky na kvalitu vjemu barev zpravidla vyžadují i zajištění vyšších hladin osvětlenosti.

Pro přesné porovnávání a reprodukci barev je nutno použít zdrojů, jejichž světlo je charakterizováno teplotou chromatičnosti T > 6500 K a indexem barevného podání $R_a \geq 90$ a přitom se požaduje hladina udržované osvětlenosti $\overline{E}_m$ (dříve E_{pk}) ≥ 1000 ℓx.

Z hlediska zrakové pohody mají být v jedné místnosti používány světelné zdroje stejného barevného tónu světla, přičemž teplota chromatičnosti světla zdrojů musí být v určitém souladu s hladinou osvětlenosti v dané místnosti. Tato důležitá souvislost vyplývá z údajů v tab.9-21.

Z tabulek 4.4 a 4.5 tedy vyplývá, že se v současné době doporučuje v pracovních prostorech teple bílý barevný tón při osvětlenostech do 500 ℓx, bílý barevný tón v oblasti 300 až 1500 ℓx a denní barevný tón světla při hladinách nad 500 ℓx. V prostorech společenského a kulturního zaměření se pak doporučuje teple bílý barevný tón při osvětlenostech do 200 ℓx, bílý tón v rozmezí 150 až 500 ℓx a denní barevný tón při hladinách osvětleností vyšších než 200 ℓx.

Z uvedeného je zřejmé, že ve většině běžných případů osvětlení vnitřních prostorů lze použít zdroje prakticky s libovolnou teplotou chromatičnosti, pokud nejsou na osvětlení kladeny zvláštní požadavky, např. estetické. Z hlediska zrakového výkonu lze tedy při kombinovaném osvětlení používat světelné zdroje sousedních barevných tónů světla podle tab.4.4, zvláště při osvětlenostech 500 *lx* a vyšších.

Tab.4.6 **Závislost teploty chromatičnosti světla zdrojů na hladině osvětlenosti**

Rozmezí teplot chromatičnosti (K)	Hladiny udržované osvětlenosti (ℓx) pro prostory	
	pracovní	společenské a kulturní
< 3300	≤ 500	≤ 200
3300 až 5300	300 až 1500	150 až 500
> 5300	> 500	> 200

Kolorita předmětů v zorném poli má být z psychologického hlediska volena tak, aby jasnější pozorovaný předmět byl obklopen teplejšími odstíny barev a vzdálené okolí aby bylo řešeno v chladnějších barevných tónech.

Praxe potvrdila, že volba nevhodné teploty chromatičnosti světla zdrojů odporuje požadavkům vyplývajícím z hlediska dosažení potřebného zrakového výkonu a zrakové pohody, ale je právě tak nehospodárná, jako nesprávně stanovená hladina osvětlenosti, protože působí na pozorovatele a pracující depresivně a následně vede k poklesu jejich výkonnosti.

4.12 Hodnocení kvality vjemu barev

Vjem barvy určitého předmětu je v zásadě podmíněn jednak spektrálním složením záření zdroje osvětlujícího předmět a jednak spektrálním činitelem odrazu či prostupu pozorovaného předmětu. Vjem barvy je však ovlivněn i samotným zrakem, a to s ohledem na různou citlivost k jednotlivým barvám i s ohledem na stav adaptace zraku podle převládajícího druhu osvětlení zorného pole. Vzhledem k dlouholetému zvyku člověka na barevný vzhled předmětů v denním (přírodním), ale také v žárovkovém světle, se tato okolnost stává často i vžitou představou a vjem barvy předmětu v přírodním, resp. žárovkovém světle se běžně považuje za normální. Proto při pozorování předmětů ve světle výbojových zdrojů (s velmi odlišným spektrálním složením v porovnání s teplotními zdroji) může dojít ke značnému zkreslení vjemu barev osvětlených předmětů. Problémy vznikají v běžném životě, v obchodě i v průmyslové výrobě v rozlišování barev a zejména v přizpůsobení barvy vyráběného předmětu barvě standardu.

Vliv spektrálního složení světla zdrojů na vjem barvy osvětlených předmětů charakterizuje **podání barev**. Vjem barvy se přitom vědomě či nevědomě srovnává s jejich vzhledem ve světle smluvního či obvyklého zdroje světla. Při takto pojatém hodnocení barev se v souladu s doporučením Mezinárodní komise pro osvětlováni neuvažují ani estetické ani psychologické vlivy.

K číselnému ocenění jakosti podání barev se využívá **indexu podání barev**, který vyjadřuje stupeň shodnosti vjemu barvy předmětů osvětlených uvažovaným zdrojem a barvy týchž předmětů osvětlených smluvním zdrojem světla za stanovených podmínek pozorování. Metoda hodnocení je založena na číselném vyjádření rozdílu vjemu barvy vybraného souboru osmi barevných vzorků (podle Munsellova atlasu č.l až č.8: růžová, žlutá, žluto-zelená, zelená, světle modrá, blankytně modrá, fialová a světle purpurová) při postupném osvětlení uvažovaným a smluvním zdrojem.

Výpočtem se stanoví **všeobecný index podání barev** $\mathbf{R_a}$. Pro podrobnější hodnocení se někdy stanovují pro každý barevný vzorek zvlášť **speciální indexy barevného podání** R_1 , R_2 , R_3 atd. Řada barevných vzorků se pro tento účel může rozšířit až na čtrnáct vzorků.
Rozdíl vjemu barvy vzorku ve světle smluvního (srovnávacího) a zkoušeného zdroje se odvozuje z porovnání vzdálenosti ΔE_i bodů popisujících oba barevné vjemy ve starším rovnoměrném diagramu

chromatičnosti (u, v) , popřípadě v rovnoměrném kolorimetrickém prostoru CIE 1960, resp. 1964 (UVW).
Všeobecný index podání barev R_a se určuje ze vztahu

$$R_a = 100 - 4{,}6 \,.\, \Delta\overline{E}_a \qquad (4-16)$$

Speciální index R_i podání barvy vzorku i se počítá z rovnice

$$R_i = 100 - 4{,}6 \,.\, \Delta E_i \qquad (4-17)$$

V rovnicích (5-15) a (5-16) značí

$$\Delta\overline{E}_a = \frac{1}{8}\sum_{1}^{8}\Delta E_i \qquad (4-18)$$

$$\Delta E_i = \sqrt{(U_{oi} - U_{ki})^2 + (V_{oi} - V_{ki})^2 + (W_{oi} - W_{ki})^2} \qquad (4-19)$$

kde U_{oi}, V_{oi}, W_{oi} jsou trichromatické složky popisující v soustavě U V W barevný vjem i – tého vzorku (i = 1, 2, 3 ... 8) při osvětlení srovnávacím zdrojem,

U_{ki}, V_{ki}, W_{ki} jsou trichromatické složky popisující v soustavě U V W barevný vjem i-tého vzorku při osvětlení zkoušeným zdrojem.

Pro práci s trichromatickými souřadnicemi lze s uvážením vlastností barevných vzorků rovnici (5-18) upravit ještě do tvaru

$$\Delta E_i = 800\ \sqrt{[(u_{oi} - u_o) - (u_{ki} - u_k)]^2 - [(v_{oi} - v_o) - (v_{ki} - v_k)]^2} \qquad (4-20)$$

kde u_o, v_o jsou souřadnice bodu popisujícího chromatičnost světla srovnávacího zdroje v diagramu u, v,

u_k, v_k jsou souřadnice bodu popisujícího chromatičnost světla zkoušeného zdroje v diagramu u, v,

u_{oi}, v_{oi} jsou souřadnice bodu popisujícího v diagramu u, v barevný vjem i-tého zkušebního vzorku (i - 1,2 ... 8) osvětleného srovnávacím zdrojem,

u_{ki}, v_{ki} jsou souřadnice bodu popisujícího v diagramu u, v barevný vjem i-tého vzorku osvětleného zkoušeným zdrojem.

Dosavadní metodika hodnocení podání barev indexem R_a je založena na předpokladu, že teplota chromatičnosti světla srovnávacího a zkoušeného zdroje se liší nejvýše o 5 MK^{-1}. To např. odpovídá při teplotě 3000 K rozdílu asi 50 K, ale při 7400 K rozdílu 250 K.
Při náhradní teplotě chromatičnosti do 5000 K se používá jako srovnávací zdroj černý zářič, tedy teplotní zdroj. Pro zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti nad 5000 K se za srovnávací zdroj využívá zdroj se spektrálním složením odpovídajícím smluvnímu bílému světlu D a některé fázi přírodního světla.
Hodnota indexu podání barev R_a může být v rozmezí od 0 do 100 . Ve světle teplotních zdrojů a v přírodním (denním) světle se barvy předmětů vnímají nejvěrněji, čemuž odpovídá hodnota indexu R_a = 100. Naopak v monochromatickém žlutém světle nízkotlakých sodíkových výbojek se barvy nerozlišují vůbec a tedy $R_a = 0$.

Literatura

[1] Agoston, G.A.: Color theory and its application in art and design, Heidelberg New York, Springer-Verlag Berlin, 1979

[2] Habel, J. : Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995

[3] Habel, J. : Osvětlování. ČVUT, Praha 1998

[4] ČSN ISO 31-6 Veličiny a jednotky, část 6: Světlo a příbuzná elektromagnetická záření. ČSNI, Praha1995

[5] ČSN IEC 50(845) Mezinárodní elektrotechnický slovník. kapitola 845. Osvětlení. 1995

[6] ČSN 011718 Měření barev, účinnost od 1.1.1992