

5 LABORATORNÍ ÚLOHY ZE SVĚTELNÉ A OSVĚTLOVACÍ TECHNIKY

5.1 Měření barevných souřadnic světla pomocí Donaldsonova kolorimetru

5.1.1 Úvod

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

Nauka měření barev se nazývá kolorimetrie a při běžném vyjadřování nazýváme vlastnost světla a předmětu barvou. Ve vjemové oblasti dále barvu světla a předmětu charakterizujeme barevným tónem, sytostí, jasností a světlostí.

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 $V(\lambda)$ k záření různých vlnových délek.

Zrakový orgán vnímá záření aditivně a odezvy na monochromatické složky světla skládá na určitý zrakový vjem barvy.

Měřením lze číselné údaje vystihující barevný podnět získat v podstatě třemi způsoby, a to měřením

- **spektrofotometrickým** – považují se za základní a objektivní, provádí se na monochromátorech, které rozkládají světlo na jednotlivé vlnové délky jejichž intenzitu měříme fotočlánkem se známou spektrální citlivostí,
- **srovnávací kolorimetrie** – v jejich zorném poli se provádí porovnání barvy srovnávacích částí a za zjištěných údajů ovládací části a srovnávacího podnětu se stanoví hledané souřadnice, patří k méně přesným, ale pro většinu praktických měření je postačující,
- **fotometrující kolorimetrie** – stanovuje se přímo velikost souřadnic a to pomocí receptorů, jejichž citlivost odpovídá trichromatickým složkám, měření je nejrychlejší, ale přesnost je velice závislá.

5.1.2 Rozbor úlohy

K popisu barev se používají kolorimetrické soustavy. Pro přesné charakterizování barev je zapotřebí tři údajů. Proto bývají kolorimetrické soustavy nazývány také trichromatickými soustavami a jsou založeny na tom, že libovolný podnět lze nahradit adiční směsí tří měrných barevných podnětů.

Všechny reálné barvy, kromě spektrálních tedy můžeme získat mísením třech barev na sobě nezávislých a to např. červené-R, zelené-G a modré-B (například filtry kolorimetrického systému). Systém je odvozen od aditivního míchání základních barev. Tyto barvy tvoří vrcholy trichromatického trojúhelníka, v soustavě RGB-rovnostranného. To obecně znamená, že součet kolmých vzdáleností kteréhokoliv bodu, je roven výšce a je konstantní. Tato výška se volí jedna.

Abychom nemuseli přímo uvažovat s absolutními hodnotami toků, nebo jasů jednotlivých barev R,G,B, které získáme měřením na Donaldsonově přístroji, zavádějí se poměrné hodnoty, které nám stačí k vyšetření spektrální a kolorimetrické čistoty barev. Tyto poměrné hodnoty jsou definovány podle následujících vztahů:

$$r = \frac{R}{R + G + B}; g = \frac{G}{R + G + B}; b = \frac{B}{R + G + B} \quad (5.1)$$

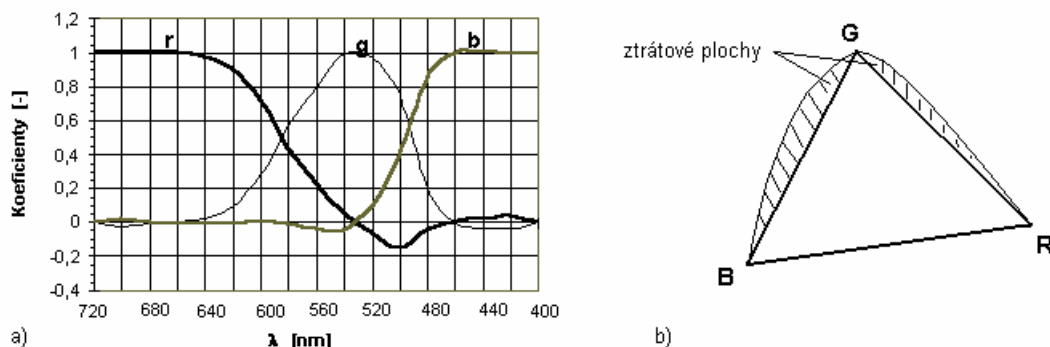
Z uvedených vztahů a předchozího vyplývá, že:

$$r + g + b = 1 \quad (5.2)$$

Nevýhodou trichromatické soustavy R,G,B je, že některé barvy (všechny spektrální, kromě RGB a některé další odpovídající ztrátové ploše na Obr. 5-1b)) jsou mimo kolorimetrický trojúhelník a tím pádem je nutné pro ně používat záporných souřadnic, tedy záporných kolorimetrických koeficientů (viz.

Obr. 5-1a)). V podstatě to znamená, že pomocí spektrálních barev RGB, můžeme namíchat jen barvy ležící na jejich spojnici a uvnitř trojúhelníka.

Další nevýhodou je, že bílé „izoenergetické“ světlo nepadne do těžiště trojúhelníka. Bílé izoenergetické světlo vznikne smícháním všech spektrálních barev o stejné intenzitě.



Obr. 5-1– Kolorimetrická soustava RGB- a) spektrální průběhy kolorimetrických koeficientů (trichromatických činitelů) $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$; b) trichromatický trojúhelník RGB

Proto byla zavedena soustava MKO (trichromatický systém XYZ), která tyto nepříjemné vlastnosti odstraňuje a pro kterou můžeme napsat tyto transformační rovnice:

$$\begin{aligned} X &= a_1 \cdot R + a_2 \cdot G + a_3 \cdot B \\ Y &= b_1 \cdot R + b_2 \cdot G + b_3 \cdot B \\ Z &= c_1 \cdot R + c_2 \cdot G + c_3 \cdot B \end{aligned} \tag{5.3}$$

Její trichromatické činitele potom jsou:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}; \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} \tag{5.4}$$

Nespornou výhodou tohoto systému je, že $\bar{y}(\lambda)$ odpovídá poměrné spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele $\bar{v}(\lambda)$.

Změřené a vypočtené souřadnice r, g , neboť dvě postačují k úplnému popisu, převedeme pomocí převodních-transformačních grafů do souřadnicového systému x, y (viz. Obr. 5-2).

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

Pro určení spektrální a kolorimetrické čistoty a dalších parametrů, potom stačí, když určíme souřadnice x a y , protože analogicky platí:

$$x + y + z = 1 \tag{5.5}$$

Dominantní barvu barevného podnětu C určíme z naměřených souřadnic tak, že jej spojíme polopřímku z těžiště kolorimetrického trojúhelníka E a tu protáhneme až na obálku spektrálních barev (viz Obr. 5-2). V místě protnutí obálky je potom hledaná dominantní barva F a tu když smísíme v jistém poměru s barvou bílou, zpětně získáme podnět či měřenou barvu.

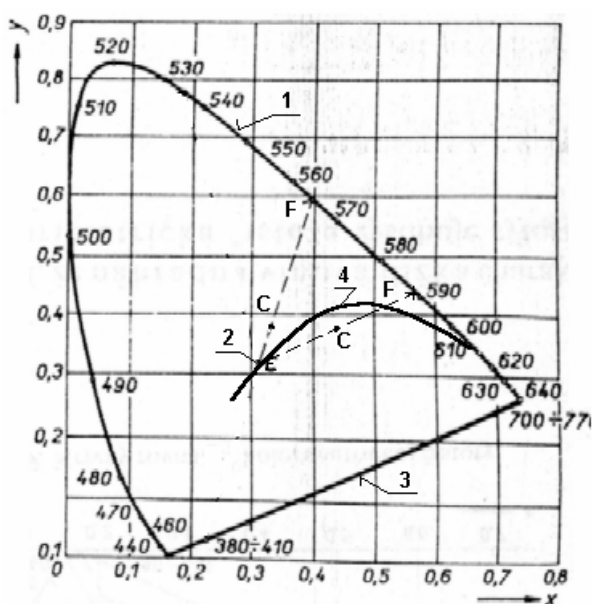
Logicky z předchozího, dominantní barva má spektrální čistotu rovnou 1 a barva bílá má spektrální čistotu rovnu 0. Měřená barva má potom spektrální sytost rovnu odpovídající délce úsečky, tedy vzdálenosti od těžiště. Matematicky vyjádřená spektrální (souřadnicová) čistota je dána vztahem:

$$p_e = \frac{x_C - x_E}{x_F - x_E} = \frac{y_C - y_E}{y_F - y_E} \tag{5.6}$$

kde C je souřadnice barevného podnětu,
 E souřadnice těžiště,
 F souřadnice dominantní barvy.

Analogicky pro čistotu kolorimetrickou, která je čistotou poměrnou

$$p_k = \frac{(x_C - x_E) \cdot x_F}{(x_F - x_E) \cdot x_C} = \frac{(y_C - y_E) \cdot y_F}{(y_F - y_E) \cdot y_C} \quad (5.7)$$



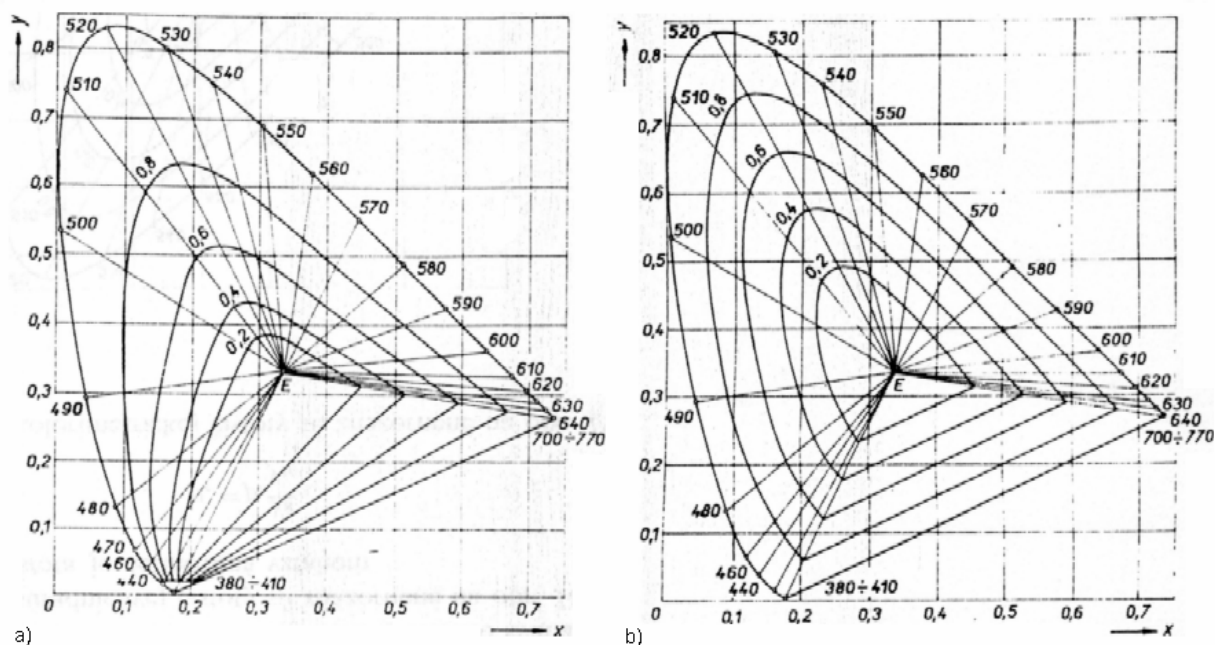
Obr. 5-2 – Postup stanovení charakteristických parametrů barevného podnětu – (1) křivka spektrálních světel s vyznačenými vlnovými délkami v nm, (2) těžiště diagramu-izoenergetické bílé světlo $E[0,33;0,33]$, (3) přímka purpurů, (4) čára teplotních zářičů v K

Křivky o stejné souřadnicové a kolorimetrické čistotě jsou na Obr. 5-3.

Nebereme-li v úvahu světelný tok, resp. jas zdroje, lze k popisu barvy či k vystižení barevných souřadnic tepla vyzařovaného teplotními zdroji využít kromě trichromatických souřadnic (x, y) , též teploty chromatičnosti. Teplota chromatičnosti T_C je rovna teplotě černého zářiče, jehož záření má tutéž chromatičnost jako uvažované záření. Udává se v kelvinech (K).

Čára teplotních zářičů s vyznačenými hodnotami teplot chromatičnosti T_C je na Obr. 5-5 popřípadě na Obr. 5-2.

Barvu světelných zdrojů, která odpovídá teplotě teplotních zářičů, lze popsat ekvivalentní teplotou chromatičnosti T_C . U zdrojů s prudkou změnou spektra (některé výbojové zdroje) též teplotou chromatičnosti náhradní.



Obr. 5-3– Trichromatický diagram XYZ – a) křivky o stejné souřadnicové čistotě; b) křivky o stejné kolorimetrické čistotě

5.1.3 Úkol měření

A. Určete souřadnice barevných podnětů (světel) propuštěných zadanými filtry.

Vyhodnoťte spektrální a kolorimetrickou čistotu.

Proveďte obecné zhodnocení barev.

- B. Změřte a určete barevné souřadnice teplotního zdroje při různých pracovních teplotách (napětích) Vyhodnoťte spektrální a kolorimetrickou čistotu a závislost teploty chromatičnosti na napětí měřeného teplotního světelného zdroje.
- Zhodnoťte provedené měření, dosažené výsledky a důsledky plynoucí ze závislosti teploty chromatičnosti na napětí.

5.1.4 Postup měření

1. Uvedeme do provozu regulátory napětí a na obou světelných zdrojích (srovnávací a srovnávaný) nastavíme požadované napětí, (popřípadě zařadíme příslušný barevný filtr), které během měření udržujeme konstantní.
2. Vlastní měření se provádí tak, že se clonami na červeném, zeleném a modrém filtru nastavuje taková barva, aby se ve srovnávacím prostoru, jenž tvoří kruh (horní hemisféra náleží měřenému světlu a dolní nastavovanému porovnávacímu, které je složeno z normálového světla a barevných nastavovaných filtrů), jevila oku stejná splývající v celém zorném poli okuláru (v celém kruhu).
3. Změňte parametry měřeného vstupního světla, změnou napětí na zdroji či zařazením jiného barevného filtru a celý postup opakujte. Jednu či druhou variantu měření (viz. úkol měření) s příslušnými parametry Vám sdělí vyučující.

5.1.5 Zpracování výsledků

Zapište změřené, vypočtené a odvozené hodnoty do tabulky (např. Tab. 5-1).

Tab. 5-1 – Tabulka naměřených, vypočtených a odvozených hodnot

U [V] (+filtr)	R	G	B	r [-]	g [-]	x [-]	y [-]	p _e [-]	p _k [-]	λ [nm]	T _c [K]
120											
....											
120 + červený											
....											

Ze změřených absolutních hodnot základních barev barevného podnětu R,G,B je třeba stanovit kolorimetrické koeficienty r, g (pro další zpracování postačí dle předchozího právě dva). Jelikož ale nemáme ve srovnávacím zdroji k dispozici bílé izoenergetické světlo, nýbrž wolframovou žárovku, jsou námi změřené hodnoty závislé na jejím spektrálním průběhu vyzářeného světla. Můžeme však použít přepočítávacích koeficientů, které nám tento nedostatek eliminují a jejich velikost je pro danou wolframovou žárovku při napájecím napětí $U=195$ V pro:

– zelené světlo $k_g=0,542$,

– modré světlo $k_b=0,535$.

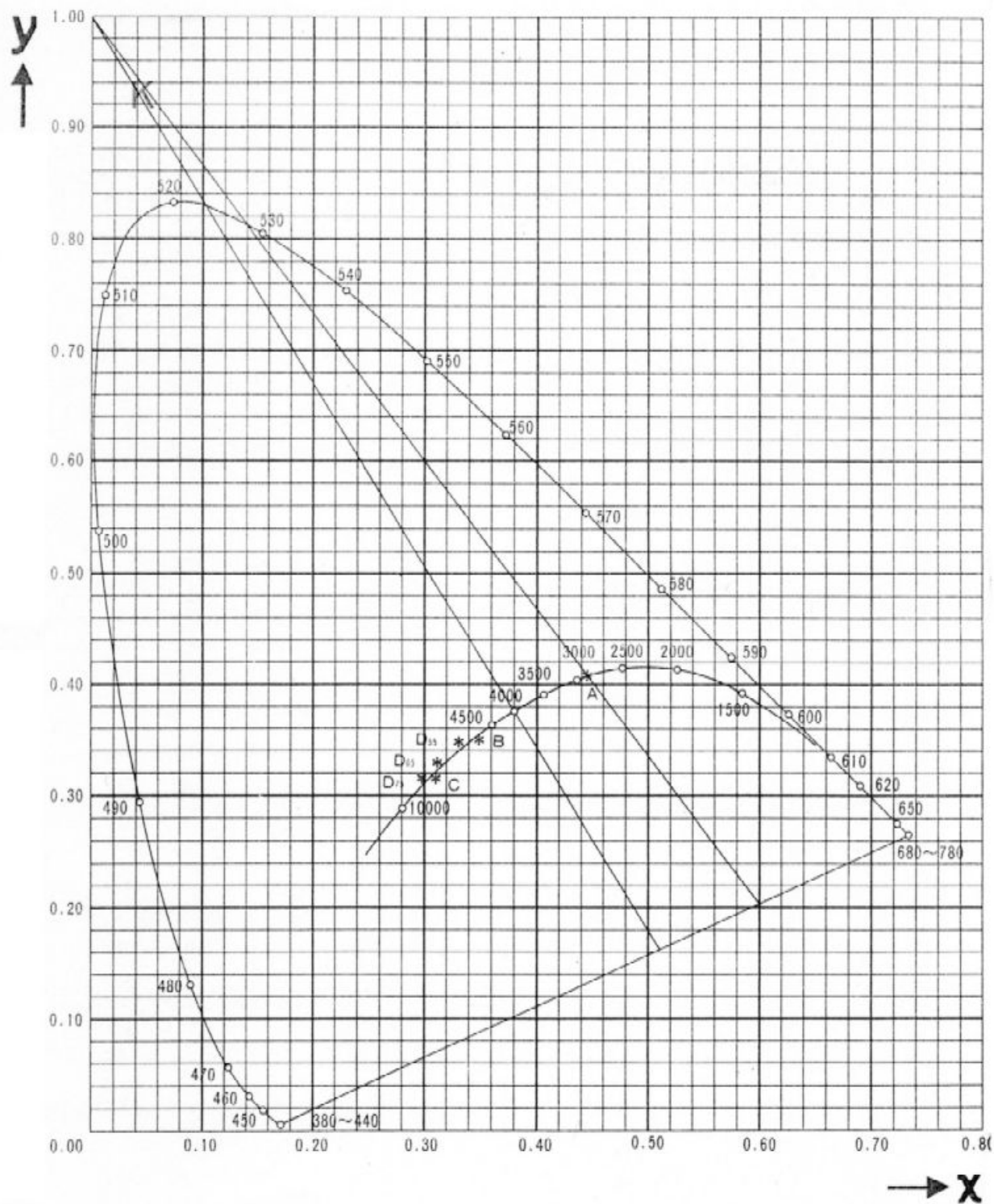
Výpočet souřadnic v soustavě RGB je potom

$$r = \frac{R}{R + G \cdot k_g + B \cdot k_b}; g = \frac{G \cdot k_g}{R + G \cdot k_g + B \cdot k_b} \quad (5.8)$$

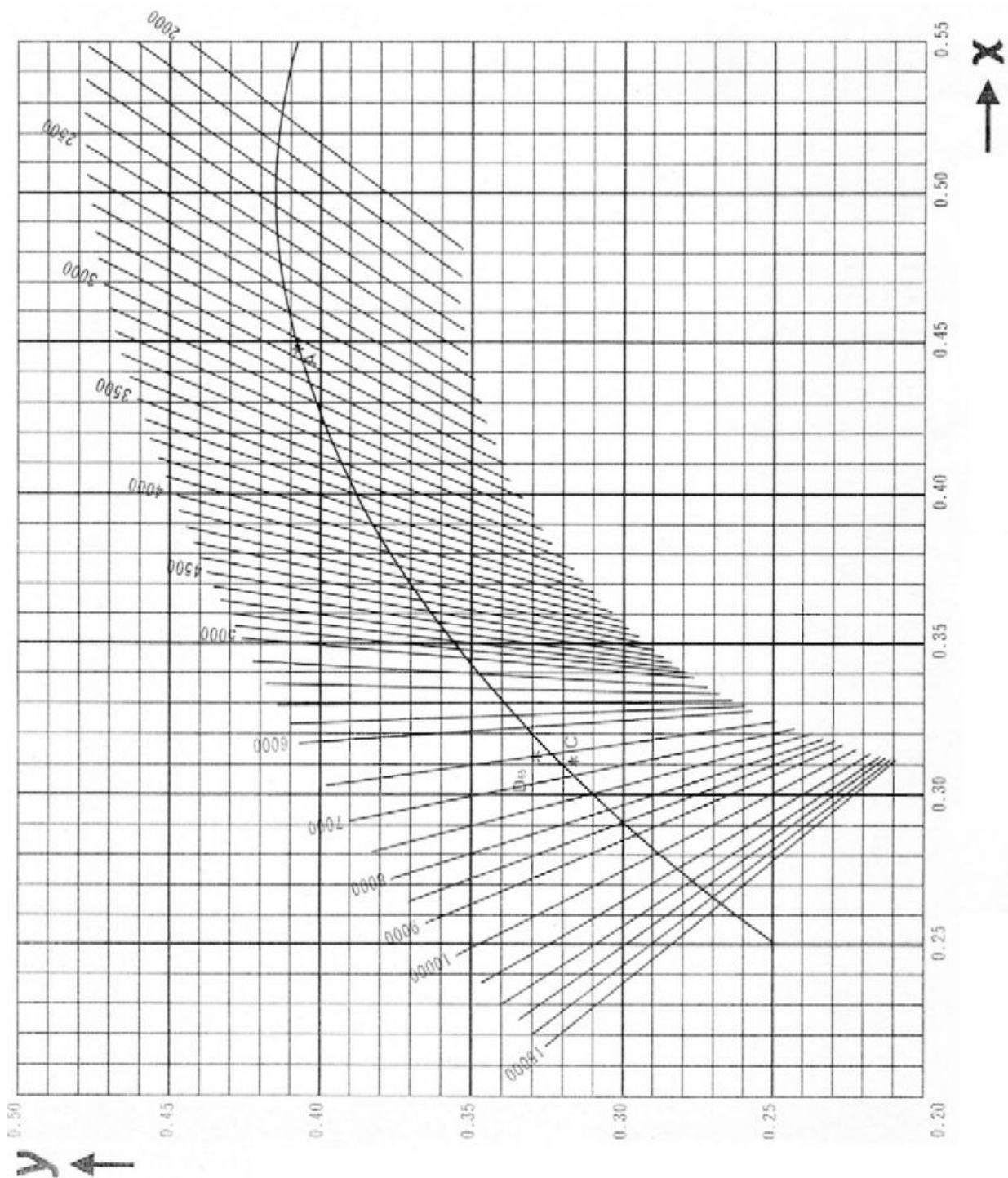
Souřadnice x, y dostaneme ze souřadnic r, g pomocí transformačních tabulek. A dále postupujeme dle kapitoly 5.1.2, přičemž všechny prováděné kroky (body a proložení) vyneseme do Obr. 5-4, popřípadě do Obr. 5-5.

5.1.6 Závěr

Závěrečné zhodnocení výsledků přizpůsobte zvolenému systému měření (závislost teploty chromatičnosti světelného zdroje na napětí->čára teplotních zářičů, použití barevných filtrů-> náhradní teplota chromatičnosti).



Obr. 5-4 – Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ v ortogonálních souřadnicích xy



Obr. 5-5 – Čára teplotních zářičů v souřadnicovém systému xy s vyznačenými čarami konstantních teplot chromatičnosti (K)