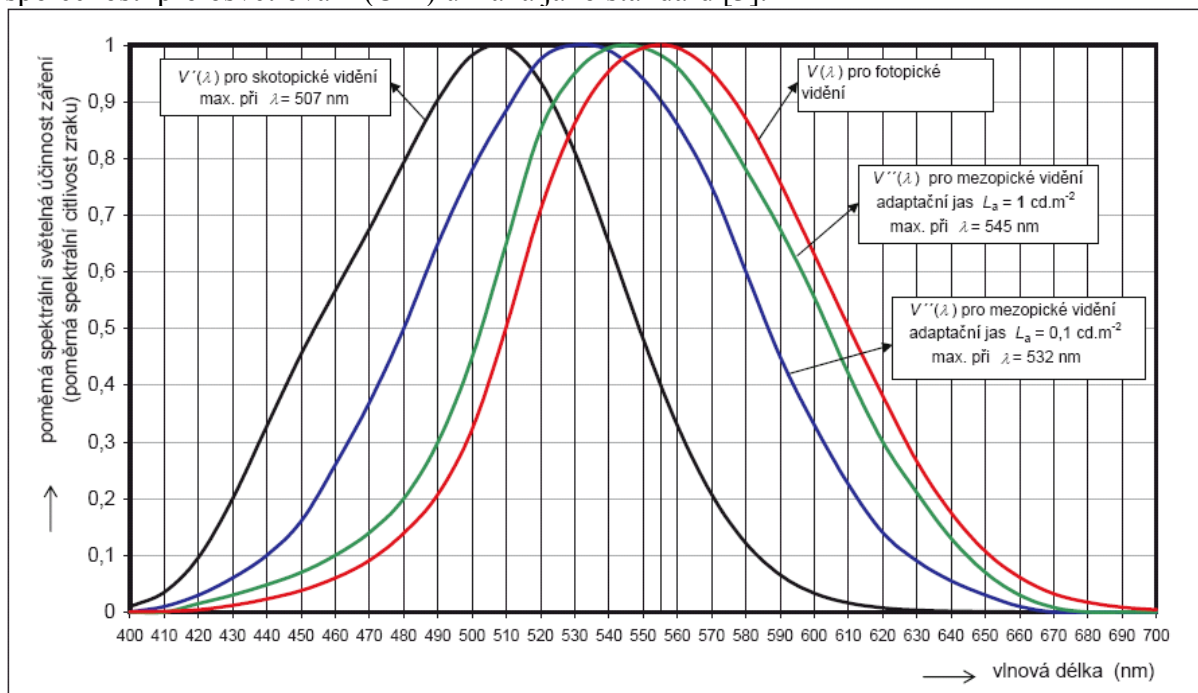


Měření fotometrických veličin spektrometrem

Cíle kapitoly: Laboratorní úloha se zabývá měřením fotometrických veličin pomocí spektrometru. Cílem úlohy je ukázat principy výpočtu světelného toku, svítivosti a jasů ze změřeného spektra.

Úvod a teoretický rozbor úlohy

Světlem nazýváme část spektra elektromagnetického záření vnímanou lidským zrakem. Viditelné světlo se nachází v oblasti vlnových délek přibližně od 380 nm (fialová barva) do 780 nm (červená barva). Mezi těmito vlnovými délkami pracuje lidské oko s určitou spektrální citlivostí, kterou při fotopickém vidění (denní vidění, při kterém se uplatňují barevné fotoreceptory - čípky) popisuje tzv. spektrální citlivost normálního fotometrického pozorovatele, jenž je reprezentována křivkou $V(\lambda)$. Ta byla v roce 1923 experimentálně zjištěna pány Gibsonem a Tyndallem na vzorcích 52 lidí a v roce 1924 mezinárodní společností pro osvětlování (CIE) uznána jako standard [3].



Obr.1 Spektrální citlivost lidského oka [2]

„V osvětlovací technice se při hodnocení kvality osvětlení jako prostředku podmiňujícího úroveň informace přijímané zrakem sledují důsledky působení záření na zrakový orgán a na zrakový vjem. Proto se v osvětlovací technice neposuzují energetické veličiny (např. zářivý tok, zářivost apod.), ale pracuje se s fotometrickými pojmy a veličinami, které respektují proměnlivou citlivost oka pozorovatele k záření různých vlnových délek.“ [1] Výsledkem jsou potom fotometrické veličiny světelný tok Φ , svítivost I , jas L apod.

Světelný tok Φ , monochromatického záření o vlnové délce λ , jehož zářivý tok je Φ_e , se stanoví podle vztahu (1)

$$\Phi(\lambda) = 683 \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (\text{lm}; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, -, \text{W}) \quad (1)$$

Světelný tok Φ záření složeného z více monochromatických záření se stanoví podobně jako v (1) podle vztahu (2)

$$\Phi(\lambda) = 683 \int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{lm; lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{W} \cdot \text{m}^{-1}, -, \text{m}) \quad (2)$$

kde $\left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda}$ je spektrální hustota zářivého toku Φ_e při vlnové délce λ .

Dokážeme-li ze zářivého toku Φ_e vypočítat světelný tok Φ , můžeme při znalosti prostorového úhlu Ω stanovit svítivost I , která je definována jako světelný tok Φ , jenž projde prostorovým úhlem Ω , tedy podle vztahu (3)

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd; lm, sr}) \quad (3)$$

Známe-li svítivost dI , jsme schopni stanovit jas L svítící plošky dS podle následujícího vztahu (4)

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \gamma} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd, m}^{-2}) \quad (4)$$

Měření následující úlohy bude probíhat pomocí spektrometru Konica Minolta CS – 1000 A se zorným úhlem $\varepsilon = 1^\circ$ kruhového tvaru. Zorný úhel ε představuje prostorový úhel Ω , ve kterém spektrometr měří. Ke stanovení prostorového úhlu můžeme užít známého vztahu (5)

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos \alpha) = 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\varepsilon}{2} \right) \quad (5)$$

Výsledky měření spektra pomocí přístroje CS-1000 nejsou ve wattch, ale jsou přepočteny na jednotku $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ [4] jenž reprezentuje **spektrální** prostorovou a plošnou hustotu zářivého toku $L_{e\lambda}$. S ní úzce souvisí integrální prostorová a plošná hustota zářivého toku tzv. zář L_e (angl. radiance) s jednotkou $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, což je obdoba fotometrické veličiny jasu L (někdy též označovaný jako L_v). Vzájemné vztahy mezi $L_{e\lambda}$, L_e a L jsou naznačeny níže.

$$L_e = \sum L_{e\lambda}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (6)$$

$$L_v = 683 \cdot \sum (L_{e\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda)) \cdot \Delta\lambda \quad (7)$$

Chceme-li proto z veličiny $L_{e\lambda}$ vypočítat zářivý tok $\Phi_e(\lambda)$, který měří spektrometr na jednotlivých vlnových délkách, musíme tuto veličinu násobit prostorovým úhlem plynoucí ze zorného úhlu 1° a plochou snímanou při stejném zorném úhlu ve vzdálenosti 1 m

$$\Phi_e(\lambda) = L_{e\lambda}(\lambda) \cdot \Omega_{\varepsilon=1^\circ} \cdot S_{\varepsilon=1^\circ} \cdot d\lambda \quad (\text{W}; \text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}, \text{sr, m}^2, \text{nm}) \quad (8)$$

Světelný tok snímaný v zorném poli spektrometru lze poté vypočítat pomocí vztahu (9)

$$\Phi = 683 \sum \left(\frac{\Delta\Phi_e(\lambda)}{\Delta\lambda} \right) \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (\text{lm; lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{W, m, -, m}) \quad (9)$$

Úkol měření

Pomocí spektrometru změřte vyzařované spektrum bílého terčiku, prosvětlovaném různými světelnými zdroji. Ze změřených dat vypočítejte světelný tok vyzářený do zorného pole spektrometru, svítivost terčiku v přímém směru a jeho jas.

Výsledky jasů porovnejte se změřenou hodnotou.

Postup měření

1. Zkontrolujte propojení spektrometru a PC, zapněte potřebné přístroje a sejměte krytku z objektivu spektrometru.
2. Spusťte program CS-S10w a založte nový soubor (File/New)
3. Načtete ze souboru šablonu „MSVT-Merení“ (File/Template/Load Template)
4. Zprovozníte komunikaci mezi PC a spektrometrem (klávesa F5)
5. Instalujete do přípravku světelný zdroj, zapněte jej a vyčkejte na jeho ustálení
6. Stisknete klávesu F4, popište měřený zdroj a spusťte měření
7. Vypněte světelný zdroj, vyčkejte, dokud nezchladne, vyjměte jej a opakujte body 5 – 7 pro všechny připravené světelné zdroje.
8. Naměřená data označte poklepáním myši na šedé levé horní políčko tabulky, zkopírujte je do schránky a vložte do externího souboru (např. MS Excel)
9. Vypněte všechna zařízení a vraťte zpět na objektiv krytku
10. Vypočítejte požadované veličiny, ověřte výsledky s naměřenými, vyhodnoťte odchylky a zpracujte protokol

Zpracování výsledků

Z průběhu měření zpracujte protokol se všemi náležitostmi. Všechny změřené a vypočtené hodnoty zpracujte přehledně formou tabulek a grafů, a uveďte vzorový příklad výpočtu. Do protokolu vložte nákres pracoviště. Nezapomeňte na seznam použitých přístrojů. Hodnoty funkce $V(\lambda)$ naleznete ve třetím sloupci ze čtyř na adrese: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/files/data/ciexyz31.txt>. Budete-li k tvorbě protokolu užívat literární prameny, pamatujte na správné citování a vyvarujte se plagiátorství!

Závěr

Zhodnoťte změřené výsledky, pokuste se vysvětlit možné příčiny odchylek mezi změřenými a vypočtenými hodnotami.

Literatura

- [1] HABEL, Jiří. A KOL. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC PUBLIC, 1995. ISBN 800-901985-0-3.
- [2] HABEL, Jiří. *Základy světelné techniky (3)*. In Světlo 1/2009. [s.l.] : [s.n.], 2009. s. 40-43. ISSN 1212-0812.
- [3] The IESNA *Lighting Handbook* : Ninth Edition. New York : IESNA, 120 Wall Street, 17th Floor, 2000. ISBN 0-87995-150-8.
- [4] KONICA MINOLTA. *CS-S10w: Instruction Manual*. 2007.