

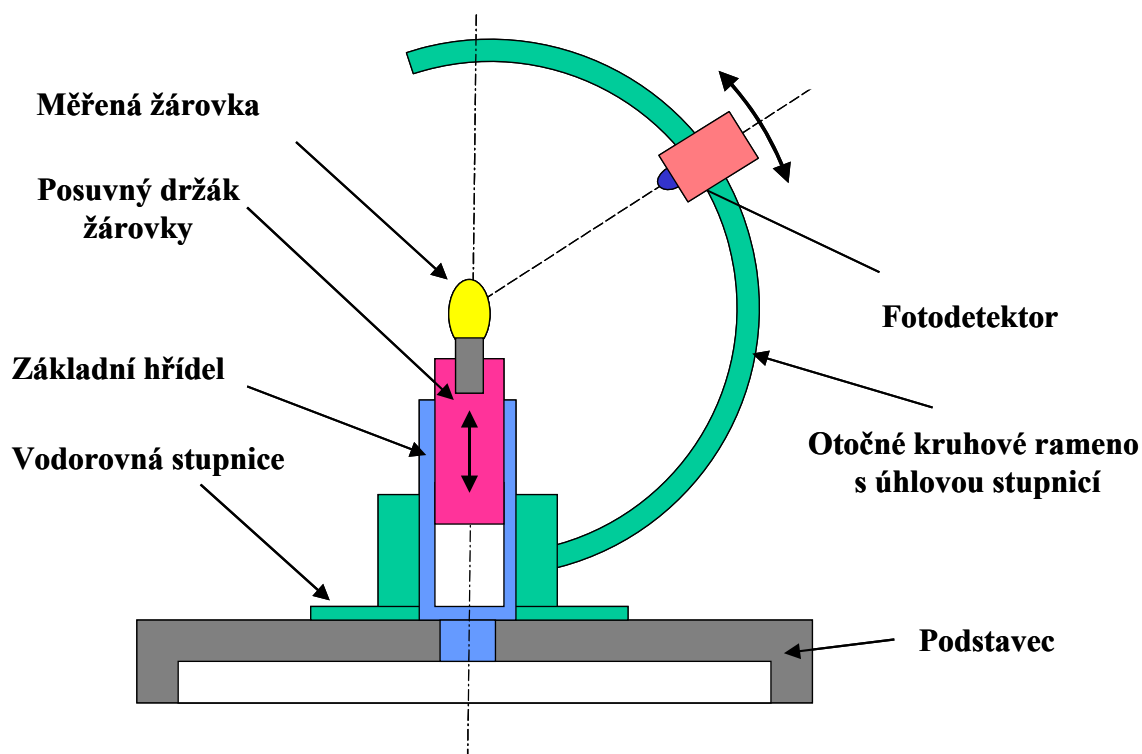
MĚŘENÍ FOTOMETRICKÝCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

ZADÁNÍ ÚLOHY

1. Určete normovanou prostorovou vyzařovací charakteristiku vybraného světelného zdroje pomocí fotogoniometru.
2. Určete spektrální složení záření vybraného světelného zdroje pomocí spektrofotometru.

1. URČENÍ PROSTOROVÉ VYZAŘOVACÍ CHARAKTERISTIKY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Měření bude prováděno na fotogoniometru Meopta, jehož principiální schéma je naznačeno na obr. 1.



Obr. 1 – Schéma fotogoniometru

Postup měření je následující:

- 1) Měřený světelný zdroj (např. žárovku, diodu) upneme do posuvného držáku.
- 2) Výškově posouváme držákem žárovky tak dlouho, až se vlákno měřené žárovky nachází ve středu otočného kruhového ramena (odměříme posuvným měřítkem).
- 3) Detektor záření, který je posuvně umístěn na kruhovém rameni fotogoniometru, nastavíme do výchozí polohy (bod, který se nachází na ose základního hřídele fotogoniometru) a pomocí digitálního voltmetru změříme elektrický signál z fotodetektoru.
- 4) Začneme postupně odečítat úhlovou polohu otočného ramena φ a úhlovou polohu detektoru na kruhovém ramenu θ , tj. změříme signál z detektoru pro danou polohu ramena a detektoru. Signál z detektoru je přímo úměrný svítivosti vyšetřovaného světelného zdroje v uvedeném směru.

Měření provádíme tím způsobem, že pro danou hodnotu θ detektoru ve svislém směru natáčíme kruhové rameno postupně ve vodorovném směru s krokem 30° v celém rozsahu $0^\circ - 360^\circ$. Poté posuneme detektor na kruhovém ramenu o úhel 10° a celé měření opakujeme (v opačném směru

otáčení). Pro jednotlivé polohy fotodetektoru zapisujeme hodnoty napětí vhodným způsobem pro následující vyhodnocení.

2. URČENÍ SPEKTRÁLNÍHO SLOŽENÍ ZÁŘENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Měření spektrálního složení záření vybraného světelného zdroje provedeme pomocí vláknové sondy spektrofotometru USB2000 od firmy Ocean Optics (obr. 2).

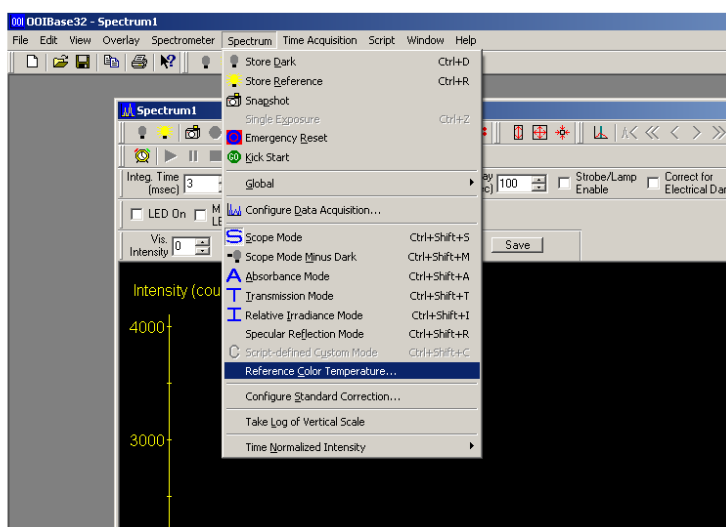


Obr. 2 – Schéma měření spektrálního složení světelných zdrojů

Do zdroje stejnosměrného elektrického napětí (12 V) se zapojí držák se světelným zdrojem (žárovkou nebo diodou).

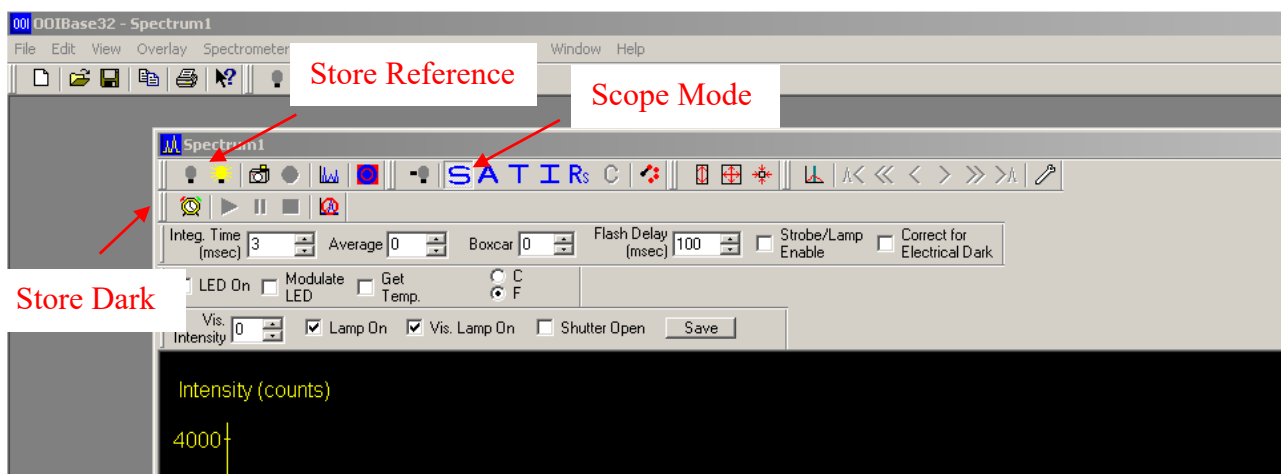
Žárovku postavíme na stojánek a provedeme měření spektrálního složení záření vybraných světelných zdrojů pomocí ovládacího software spektrofotometru **OOIBase32**. Při práci se spektrofotometrem dbejte pokynů vyučujícího.

1. Spektrální intenzitu světelného zdroje budeme měřit relativně vzhledem k referenčnímu zdroji světla (halogenový zdroj záření LS-1 o teplotě chromatičnosti $T = 3100 \text{ K}$). Nastavení zkontrolujeme v dialogu *Spectrum – Reference Color Temperature*.
2. Dále v řídicím programu **OOIBase32** nastavíme měření a zobrazování detekované spektrální odezvy spektrofotometru s vláknem (menu *Spectrum – Scope Mode*).
3. Signál ze spektrometru při zapnutém zdroji světla by měl být přibližně mezi



3200 – 3500. Pokud tomu tak není, musíme tuto hodnotu nastavit buď posuvem horního držáku s vláknem (blíže nebo dále od vzorku) popř. nastavením jiné integrační doby CCD snímače (*Integration Time*).

4. Nejprve provedeme měření referenčního spektra $R_S(\lambda)$ (tzv. Reference Spectrum) pro zapnutý zdroj záření. Optické vlákno připojíme ke zdroji LS-1 a signál uložíme pomocí příkazu menu *Spectrum – Store Reference*.



5. Dále zastíníme vlákno, které vede světlo ke spektrometru, vhodným nepropustným stínítkem a provedeme měření spektra $D_S(\lambda)$ (tzv. Dark Spectrum) pro vypnutý resp. zastíněný zdroj (toto spektrum odpovídá šumu při detekci záření a elektronickém zpracování signálu). Spektrum uložíme pomocí příkazu menu *Spectrum – Store Dark*.
6. Naměřená spektra uložíme pomocí *File – Save – Reference*, *File – Save – Dark*, apod. (zvolíme vhodný název).
7. Optické vlákno přepojíme na stojan a zobrazí se signál $S_S(\lambda)$ pro zkoumaný světelný zdroj. Data uložíme pomocí *File – Save – Sample*.
8. Známe-li spektrum $R_S(\lambda)$, $D_S(\lambda)$ a $S_S(\lambda)$, lze vypočítat relativní spektrální intenzitu $I_r(\lambda)$ vzhledem k relativnímu spektru vyzařování referenčního zdroje $B(\lambda)$ (normované spektrální intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa) pomocí vztahu

$$I_r(\lambda) = B(\lambda) \frac{S_S(\lambda) - D_S(\lambda)}{R_S(\lambda) - D_S(\lambda)}, \quad (1)$$

kde $B(\lambda)$ určíme dle vztahu

$$B(\lambda) = M(\lambda, T)N(T), \quad (2)$$

kde

$$M(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1}, \quad N(T) = 1 / M(\lambda_{\max}, T), \quad (3)$$

λ značí vlnovou délku (dosazovanou v metrech), T teplotu chromatičnosti (v našem případě 3100 K), $N(T)$ je normovací konstanta, $\lambda_{\max}$ je maximální vlnová délka v rozsahu měření (normovací konstanta tedy zajistí, aby hodnota $B(\lambda_{\max}) = 1$), $M(\lambda, T)$ je spektrální intenzita vyzařování absolutně černého tělesa teploty T , $C_1 = 2\pi hc^2 = 3,74177 \cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$, $C_2 = hc / k = 1,43878 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$, h je Planckova konstanta, k je Boltzmanova konstanta a c značí rychlost světla ve vakuu.

Hodnoty relativní spektrální intenzity $I_r(\lambda)$ zobrazí pro daný světelný zdroj program **OOIBase32**, jestliže zapneme režim Irradiance Mode (*Spectrum – Irradiance Mode*). Tyto hodnoty uložíme pomocí *File – Save – Processed*.

Data jsou uložena ve speciálním textovém datovém souboru, který si můžeme prohlédnout v libovolném textovém editoru (např. Notepad ve Windows). Koncovky souborů odpovídají typům dat (*.Dark, *.Reference, *.Sample, *.Irradiance).

Pro další úspěšné počítačové zpracování je možné buď tyto soubory upravit takovým způsobem, že odstraníme úvodní textovou hlavičku a poslední textový řádek na konci souboru (v souboru nám tedy zbudou pouze numerická data – 2 sloupce pro vlnovou délku a odpovídající hodnotu intenzity). Takto upravená data uložíme jako textový soubor s koncovkou „txt“ s odpovídajícím názvem. Z takového souboru lze potom snadno numerická data načíst do proměnných při počítačovém zpracování.

V případě, že pro zpracování dat používáme Matlab je též možné načíst přímo neupravené datové soubory ze spektrometru (obsahující hlavičku i poslední textový řádek) s využitím funkce *importdata*. Výstupem funkce *importdata* při načtení souboru spektrometru je poté datový typ *struct* (struktura), který má dvě pole – *textdata* (obsahuje pole buněk *cell array* tvořené jednotlivými řádky textu hlavičky) a *data* (obsahuje matici s numerickými daty). Detailní popis viz dokumentace funkce *importdata*.

Data načteme v softwaru MATLAB a dále zpracujeme například následujícím způsobem:

- Načteme měřené datové soubory pro hodnoty $R_s(\lambda)$, $D_s(\lambda)$ a $S_s(\lambda)$.
- Pro měřený rozsah vlnových délek a teplotu chromatičnosti vypočteme hodnoty funkce $M(\lambda, T)$ a normovací konstantu $N(T)$ dle vztahů (3).
- Dle vztahů (1) a (2) vypočteme hodnoty relativní spektrální intenzity $I_r(\lambda)$.
- Relativní spektrální intenzitu normujeme tak, aby její maximální hodnota byla rovna 1.
- Pro porovnání s výsledky ze softwaru **OOIBase32** načteme soubor Irradiance a hodnoty také normujeme tak, aby maximální hodnota byla rovna 1.
- Graficky vhodným způsobem zobrazíme spektrum a provedeme další požadované analýzy.

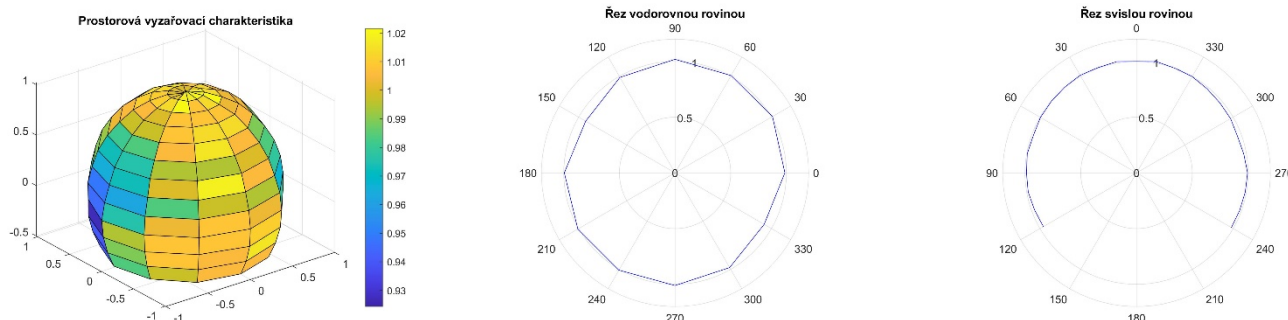
Volitelné:

Pro přehlednější zpracování je doporučeno naměřená data filtrovat například průměrujícím filtrem s vhodným oknem, a to buď přímo jednotlivé funkce $R_s(\lambda)$, $D_s(\lambda)$ a $S_s(\lambda)$ nebo čitatele $S_s(\lambda) - D_s(\lambda)$ a $R_s(\lambda) - D_s(\lambda)$ ve výpočtu vztahu (1). Tím je potlačen šum senzoru pro další analýzu.

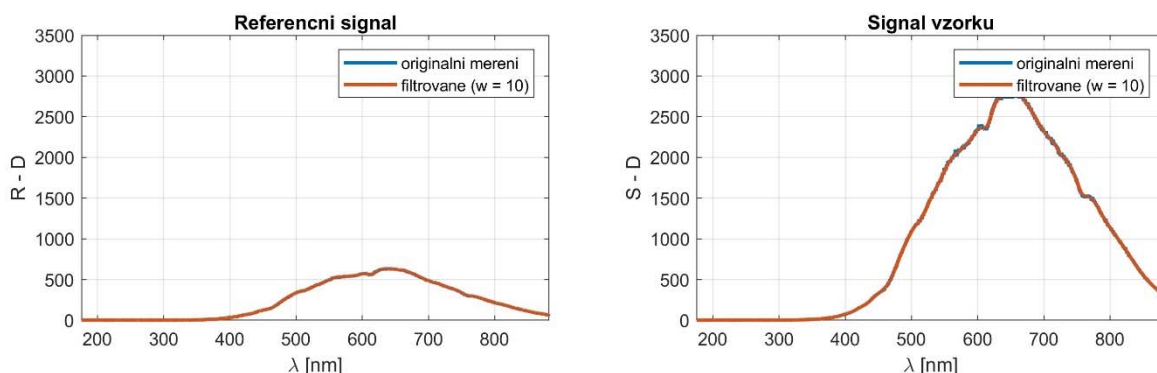
POŽADOVANÉ KROKY POSTUPU A VÝSTUPY

Všechny výpočty provádějte v prostředí MATLAB. Výsledné nejistoty uvádějte pro 95% interval spolehlivosti.

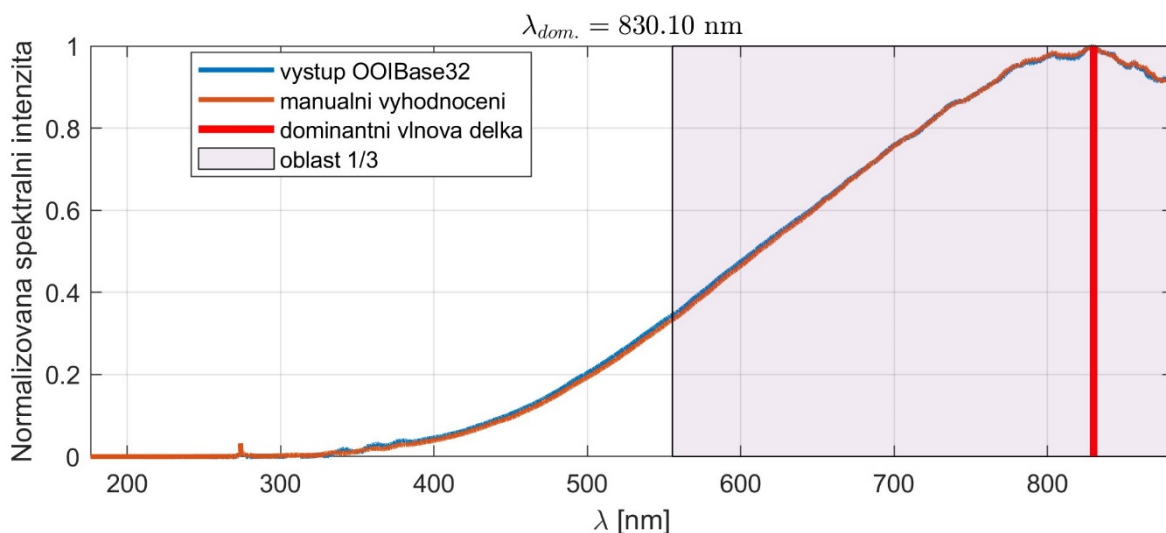
- Zaměřte hodnoty napětí pro jednotlivé polohy fotodetektoru dle postupu uvedeného v 1. části. Hodnoty vhodným způsobem zaznamenejte do prostřední MATLAB.
- Normujte naměřené hodnoty tak, aby napětí pro polohu $\varphi = 0^\circ$ a $\theta = 0^\circ$ bylo rovno 1.
- Zobrazte graf prostorové vyzařovací charakteristiky a dále její vodorovný řez v rovině $\theta = 90^\circ$ a svislý řez v rovině $\varphi = 0^\circ$.



- Pomocí postupu popsaného v bodech 1. – 8. druhé části zaměřte data pro vyhodnocení relativní spektrální intenzity světelného zdroje.
- Načtěte a zpracujte soubory v MATLABu podle kroků A – F druhé kapitoly.
- Vhodně graficky zobrazte zaznamenané a zpracované signály referenčního a měřeného zdroje.



- Porovnejte graficky výsledky vašeho výpočtu s výsledky zaznamenanými v Irradiance Mode v softwaru OOIBase32.
- Z výsledných hodnot normované relativní spektrální intenzity světelného zdroje, který jste vypočetli z měření, určete dominantní vlnovou délku $\lambda_{dom.}$, pro kterou je intenzita maximální, a zobrazte v grafu.
- Určete pás vlnových délek, jejichž normované relativní intenzity jsou větší než 1/3, vhodně zobrazte graficky.



POMŮCKY

fotogoniometr Meopta, spektrofotometr USB2000, digitální voltmetr, posuvné měřítko, měřený světelný zdroj, zdroj stejnosměrného napětí, MATLAB