

---

## Měření optických vlastností materiálů

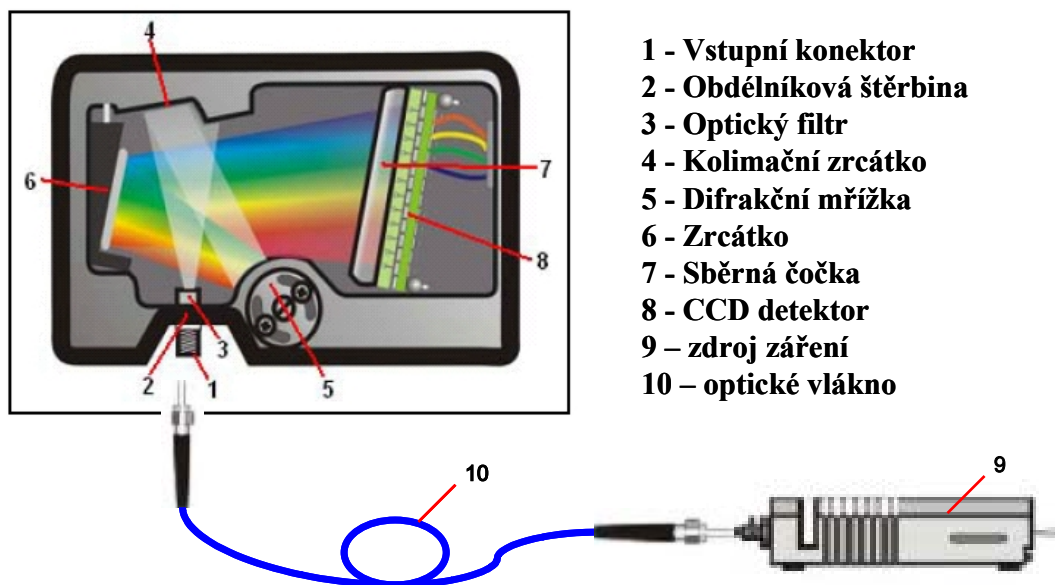
---

- Úkoly :**
- 1. Určete spektrální propustnost vybraných materiálů (různých typů stavebních skel a optických filtrů) pomocí spektrofotometru**
  - 2. Určete spektrální odrazivost vybraných optických povrchů pomocí spektrofotometru**

**Postup :**

**1. Určení spektrální propustnosti materiálů**

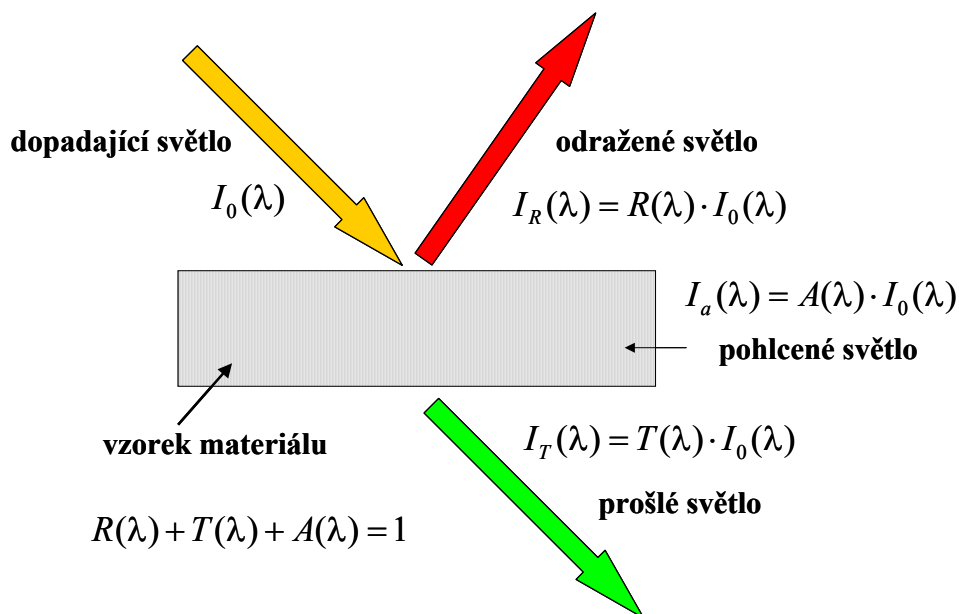
Měření spektrální propustnosti materiálů bude prováděno pomocí vláknových sond spektrofotometru USB2000 od firmy Ocean Optics (**obr.1**) a halogenového světelného zdroje LS-1, který vyzařuje v oblasti vlnových délek 360 nm – 2000 nm.



**Obr.1:** Schéma spektrofotometru USB2000

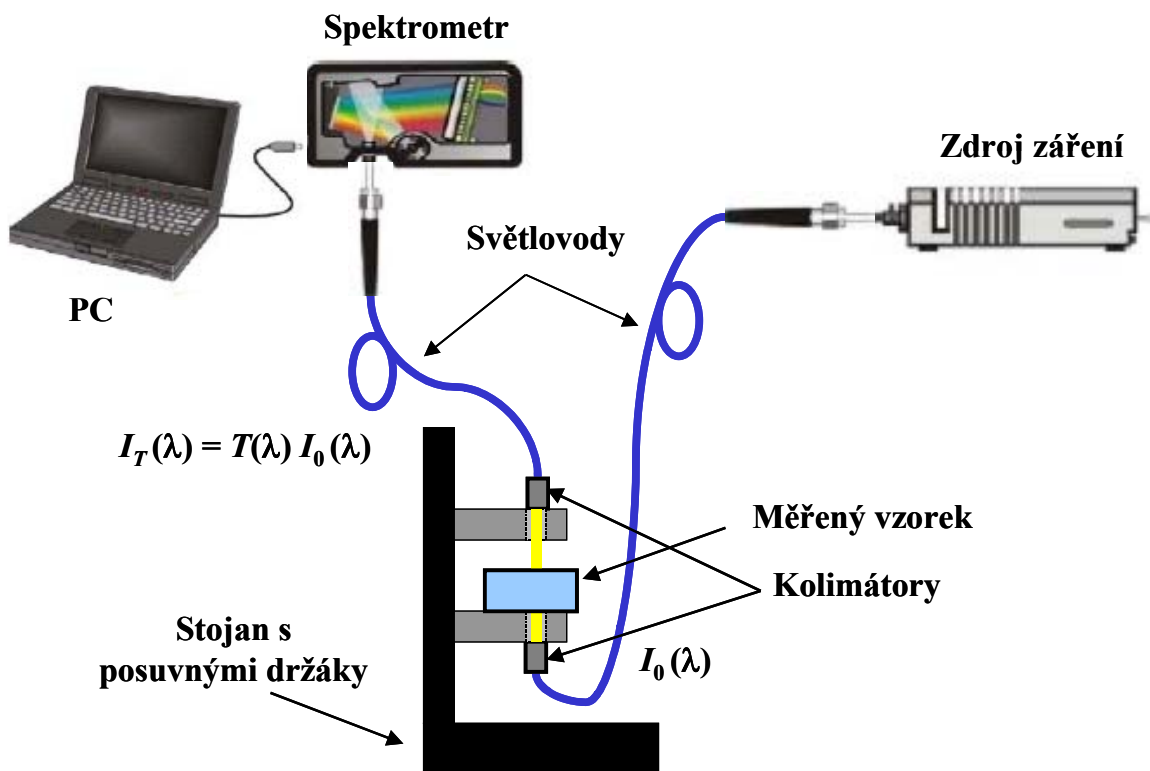
Spektrofotometr umožňuje pomocí rozkladu vstupujícího světla na difrakční mřížce automaticky zaznamenat intenzitu světla dopadajícího na CCD detektor a určit závislost intenzity záření  $I(\lambda)$  na vlnové délce  $\lambda$ .

Spektrální propustnost  $T(\lambda)$  je definována jako poměr intenzity  $I_T(\lambda)$  záření prošlé vzorkem k intenzitě záření  $I_0(\lambda)$ , které na vzorek dopadá (viz. **obr.2**).



**Obr.2:** Dopad světla na vzorek materiálu

Schéma měření spektrální propustnosti pomocí spektrofotometru USB2000 je znázorněno na **obr.3**. Měřený vzorek bude upevněn na stojánku pro měření propustnosti. Měření se provádí pomocí ovládacího software spektrofotometru **OOIBase32**, ke kterému je přiložen podrobný návod.



**Obr.3:** Schéma měření spektrální propustnosti pomocí spektrofotometru USB2000

Měření spektrální propustnosti  $T(\lambda)$  provedte pro následující vzorky opticky propustných materiálů:

- a) optické filtry 3,4,5, kombinace filtrů 3+4
- b) plexisklo 1 a ostatní druhy skel 2-4
- c) okenní skla 1-3 (dvojsklo, dvojsklo s fólií, trojsklo s fólií)

Při provádění měření propustnosti je nutné postupovat následovně:

- 1) Optická vlákna upevníme podle obrázku přes kolimátory (jemně zašroubujte do horního a spodního držáku vlákna na stojanu). S vlákny zacházíme velmi opatrně a zachováváme velké poloměry křivosti při jejich ohýbání.
- 2) V řídicím programu **OOIBase32** si nastavíme měření a zobrazování spektrální intenzity (menu *Spectrum – Scope Mode*). Zapneme zdroj vypínačem na jeho zadní straně. 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*).
- 3) Provedeme měření referenčního spektra  $R_S(\lambda)$  (tzv. Reference Spectrum) pro zapnutý zdroj záření bez vloženého vzorku a spektrum uložíme pomocí příkazu menu *Spectrum – Store Reference*.
- 4) Dále zastíníme vlákno, které vede světlo ke spektrometru, nějakým 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*.
- 5) Po naměření a uložení předchozích spekter již lze přistoupit k měření spektrální propustnosti  $T(\lambda)$  vybraných vzorků opticky propustných materiálů (různých typů skel, optických filtrů, apod.). V řídicím programu **OOIBase32** si nastavíme měření a zobrazování spektrální propustnosti (menu *Spectrum – Transmission Mode*). Pro každý vzorek se naměří spektrum  $S_S(\lambda)$  a výsledky měření se poté uloží do souboru na disk počítače. Při zpracování prováděného měření na počítači si každá skupina **vytvoří nový adresář ve složce C:\Dokumenty** a do tohoto adresáře bude nadále ukládat veškerá měřená data. Spektrum světla prošlého vzorkem uložíme pomocí příkazu *File – Save – Processed* do vytvořeného adresáře (název si zvolte podle typu a čísla měřeného prvku – např. „filtr2“ nebo „okno1“, apod.). Všechna spektra musí být naměřena ve stejné konfiguraci (během měření nelze měnit např. integrační dobu snímače, vzdálenost vláken, apod.) . Spektrální propustnost  $T(\lambda)$  vzorku se vypočte podle vztahu

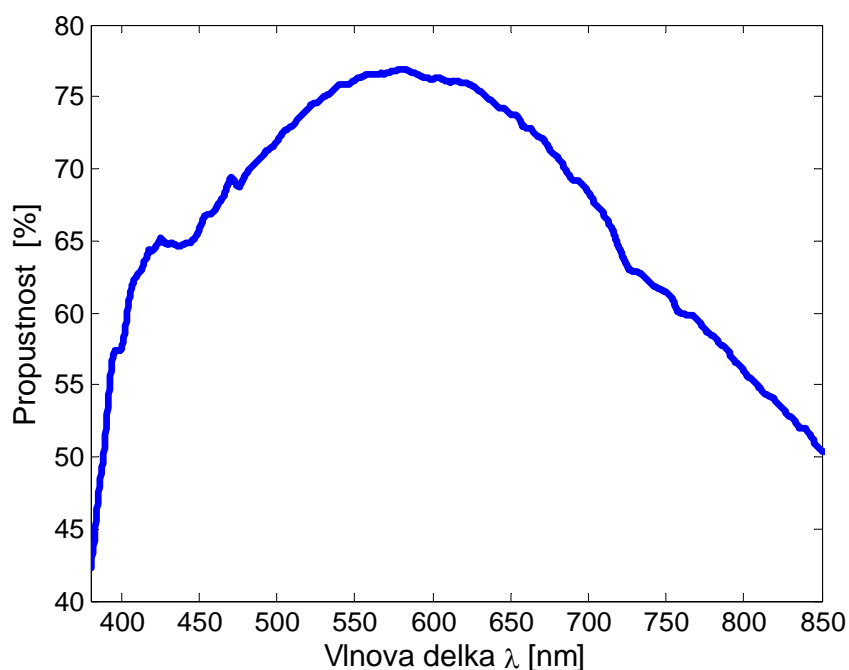
$$T(\lambda) = \frac{S_S(\lambda) - D_S(\lambda)}{R_S(\lambda) - D_S(\lambda)} \cdot 100 \% .$$

Naměřená spektrální data jsou uložena ve speciálním textovém datovém souboru, který si můžeme prohlédnout v libovolném textovém editoru (např. Notepad ve Windows).

Naměřené hodnoty, uložené v datovém souboru, se poté graficky zpracují v systému Matlab na počítači (software *spektrofotometr.p*).

Při práci se spektrofotometrem dbejte pokynů vyučujícího.

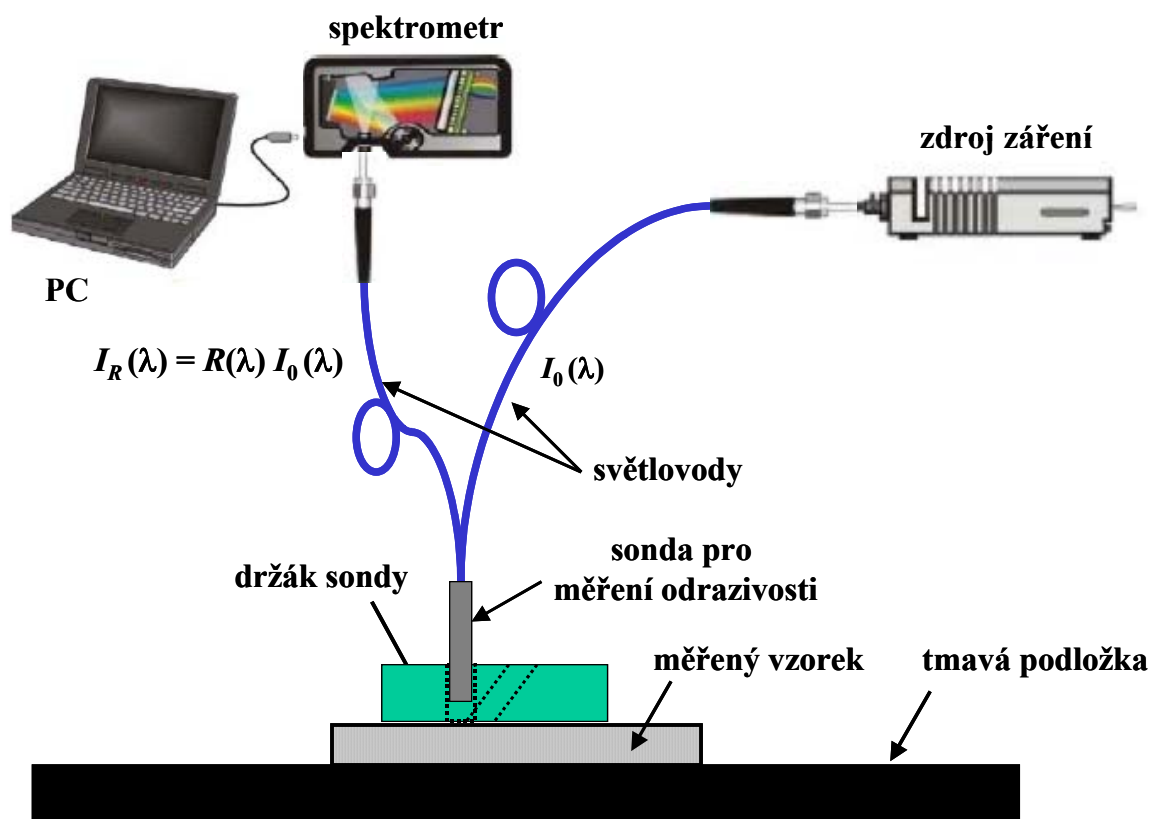
Program vykreslí spektrální závislost naměřené veličiny (např. propustnosti – viz. **obr.4**). Získané grafy je nutno uložit jako obrázky a graficky upravit (zesílit čáry, změnit barvu a styl čar, popsat název grafu, popsat osy, přidat legendu grafu, atd.). Vykreslete vždy grafy pro celou skupinu porovnávaných materiálů (např. optických filtrů, okenních skel, apod.) Získané grafy je nutno přiložit do protokolu o měření. Jako závěr by mělo být provedeno stručné srovnání měřených prvků (např. okenních skel, optických filtrů, apod.).



**Obr.4:** Graf spektrální propustnosti skla

## 2. Určení spektrální odrazivosti materiálů

Měření spektrální odrazivosti materiálů bude prováděno pomocí spektrofotometru USB2000 od firmy Ocean Optics (**obr.1**), halogenového světelného zdroje LS-1, který vyzařuje v oblasti vlnových délek 360 nm – 2000 nm a speciální vláknové sondy pro měření odrazivosti. Principiální schéma měření spektrální propustnosti pomocí spektrofotometru USB2000 je ukázán na **obr.5**.



**Obr.5:** Schéma měření spektrální odrazivosti pomocí spektrofotometru USB2000

Spektrální odrazivost  $R(\lambda)$  je definována jako poměr intenzity  $I_R(\lambda)$  záření odražené od povrchu vzorku k intenzitě záření  $I_0(\lambda)$ , které na vzorek dopadá (**obr.2**). Měřený vzorek bude buď upevněn na stojánku nebo se použije speciální držák optického vlákna, který se položí na povrch vyšetřovaného vzorku materiálu (**obr.5**). Měření se provádí pomocí ovládacího software spektrofotometru **OOIBase32**, ke kterému je přiložen podrobný návod.

Měření spektrální odrazivosti  $R(\lambda)$  proved'te pro následující vzorky povrchů:

- zrcátka 1-2
- plexisklo 1 a obyčejné sklo 6
- okenní skla 1-3 (dvojsklo, dvojsklo s fólií, trojsklo s fólií)
- povrch CD

Při provádění měření spektrální odrazivosti je nutné postupovat následovně:

- 1) Optické vlákno se sondou pro měření odrazivosti upevníme podle obrázku ke zdroji světla a spektrometru (jemně zašroubujte do příslušných závitů). S vlákny zacházíme velmi opatrně a zachováváme velké poloměry křivosti při jejich ohýbání.
- 2) Vlastní sondu pro měření odrazivosti upevníme kolmo do speciálního držáku (**obr.5**) tak, aby konec sondy byl přibližně 5-10 mm před koncem držáku, který při měření přikládáme k vyšetřovanému vzorku.
- 3) V řídicím programu **OOIBase32** si nastavíme měření a zobrazování spektrální intenzity (menu *Spectrum – Scope Mode*).
- 4) Zapneme zdroj vypínačem na jeho zadní straně a provedeme měření referenčního spektra  $R_S(\lambda)$  (tzv. Reference Spectrum) pro referenční odraznou plochu (referenční zrcátko). Signál ze spektrometru při by měl být přibližně mezi 3200-3500. Pokud tomu tak není, musíme tuto hodnotu změnit nastavením jiné integrační doby CCD snímače (*Integration Time*) popř. nastavením jiné vzdálenosti sondy od povrchu vzorku. Referenční spektrum uložíme pomocí příkazu menu *Spectrum – Store Reference*.
- 5) Dále zastíníme světelný svazek, který vede světlo do sondy, např. nějakým nepropustným stínítkem a provedeme měření spektra  $D_S(\lambda)$  (tzv. Dark Spectrum) pro vypnutý resp. zastíněný zdroj. Spektrum uložíme pomocí příkazu menu *Spectrum – Store Dark*.
- 6) Po naměření a uložení předchozích spekter již lze přistoupit k měření spektrální odrazivosti  $R(\lambda)$  vybraných vzorků povrchů materiálů (různých typů skel, zrcátek, optických filtrů, apod.). V řídicím programu **OOIBase32** si nastavíme měření a zobrazování spektrální propustnosti (menu *Spectrum – Transmission Mode*). Pro každý vzorek se naměří spektrum  $S_S(\lambda)$  a výsledky měření se poté uloží do souboru na disk počítače. Při zpracování prováděného měření na počítači si každá skupina **vytvoří nový adresář ve složce C:\Dokumenty\** a do tohoto adresáře bude nadále ukládat veškerá měřená data. Spektrum světla prošlého vzorkem uložíme pomocí příkazu *File – Save – Processed* do vytvořeného adresáře (název si zvolte podle typu a čísla měřeného prvku – např. „zrcatko2“ nebo „okno1“, apod.). Všechna spektra musí být naměřena ve stejné konfiguraci (během měření nelze měnit např. integrační dobu snímače, vzdálenost sondy od měřeného povrchu, apod.) .
- 7) Spektrální odrazivost  $R(\lambda)$  vzorku se vypočte podle vztahu

$$R(\lambda) = \frac{S_S(\lambda) - D_S(\lambda)}{R_S(\lambda) - D_S(\lambda)} \cdot 100 \% .$$

Naměřená spektrální data jsou uložena ve speciálním textovém datovém souboru, který si můžeme prohlédnout v libovolném textovém editoru (např. Notepad ve Windows). Naměřené hodnoty, uložené v datovém souboru, se poté opět graficky zpracují v systému Matlab na počítači (software *spektrofotometr.p*).

Vypočtené hodnoty spektrální odrazivosti se vztahují k použitému normálu pro měření odrazivosti (referenční zrcátko s odrazivostí 75%) a jsou následně přepočteny v programu.

Program vykreslí spektrální závislost naměřené veličiny (např. odrazivosti). Získané grafy je nutno graficky poupravit (zesílit čáry, změnit barvu a styl čar, popsat název grafu, popsat osy, přidat legendu grafu, atd.) a uložit jako obrázky (příkaz *Export* v menu *File*). Grafy je nutno přiložit do protokolu o měření. Jako závěr by mělo být provedeno stručné srovnání odrazivosti měřených povrchů.

Do výsledného protokolu o měření (úvodní hlavička je v adresáři *C:\Dokumenty\*) bude zahrnut stručný teoretický úvod o měření a výpočtu odrazivosti a propustnosti materiálů a použití různých materiálů a prvků (princip reflexních a antireflexních vrstev, apod.) v praxi, popis samotného měření pomocí spektrometru a zpracované grafy měřených prvků (pro každou skupinu měřených materiálů, např. okenní skla, optické filtry, apod.). Měl by též být připojen komentář a závěr k uvedenému měření (tj. stručné porovnání odrazivosti resp. propustnosti měřených prvků).

### **Postup měření:**

1. Naměřte spektrální propustnost vzorků. Určete maximální a průměrnou propustnost v oblasti viditelného spektra.
2. Naměřte spektrální odrazivost vzorků. Určete maximální a průměrnou odrazivost v oblasti viditelného spektra.
3. Měření zpracujte graficky na počítači a vzájemně porovnejte optické vlastnosti jednotlivých vzorků.

---

**Pomůcky : spektrofotometr USB2000, halogenový zdroj záření LS-1, optická vlákna, stojánek pro měření, držák vláken pro měření odrazivosti.**