

3.1 Laboratorní úlohy z osvětlovacích soustav

3.1.1 Měření odraznosti povrchů

Cíl: Cílem laboratorní úlohy je porovnat spektrální a integrální odraznosti různých typů povrchů.

3.1.1.1 Úvod

Optické vlastnosti materiálů jsou důležité zejména pro návrh a konstrukci světelně činných částí různých zařízení s ohledem na možnosti usměrňování světelného toku, jeho rozptýlení a popřípadě omezení jasů v určitých směrech, a to při zachování co největší účinnosti. Odraznosti stropu a stěn mají podstatný vliv na kvantitativní, ale i na kvalitativní ukazatele vnitřního osvětlení i na hospodárnost osvětlovacích zařízení.

3.1.1.2 Rozbor úlohy

Světelný tok Φ_D dopadající na uvažovaný materiál se v obecném případě dělí na tři části, a to na část Φ_ρ , která se odrazí, na část Φ_τ , která látkou projde, a na část Φ_α , kterou látka pohltí. Platí tedy:

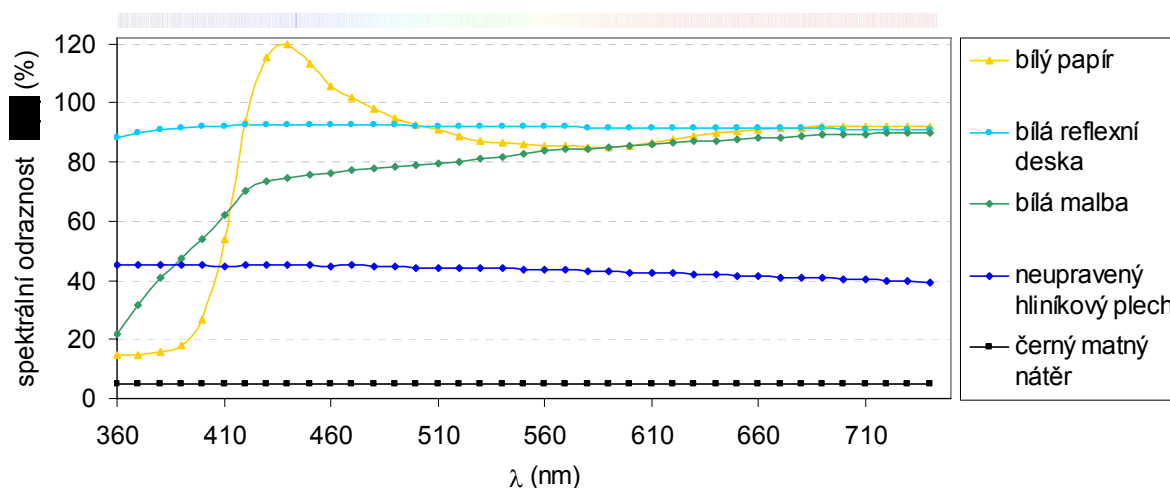
$$\Phi_D = \Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha \quad (\text{lm;lm,lm,lm}) \quad (3.1)$$

Světelně technické vlastnosti látek charakterizují tři činitele odpovídající zmíněnému rozdělení světelného toku. Jsou to integrální činitel odrazu $\rho = \Phi_\rho / \Phi_D$, integrální činitel prostupu $\tau = \Phi_\tau / \Phi_D$ a integrální činitel pohlcení $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi_D$. Pro činitele vyplývá z rovnice souvislost:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (-,-,-) \quad (3.2)$$

Pro neprůsvitné materiály platí $\rho + \alpha = 1$ a pro materiály pohlcující veškeré záření na ně dopadlé (černé těleso) $\alpha = 1$.

Činitel odrazu, prostupu a pohlcení však nezávisí pouze na vlastnostech látky samotné, ale i na vlnové délce dopadajícího záření. Proto se kromě integrálních hodnot zmíněných činitelů definují i jejich spektrální hodnoty $\rho(\lambda)$, $\tau(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$. Příklady spektrální odraznosti je na Obr. 3-1.



Obr. 3-1 Spektrální odraznost některých povrchů

Dopadá-li na sledovanou látku složený zářivý tok Φ_e , pak pro hodnotu integrálního činitele odrazu ρ sledované látky platí obecný výraz:

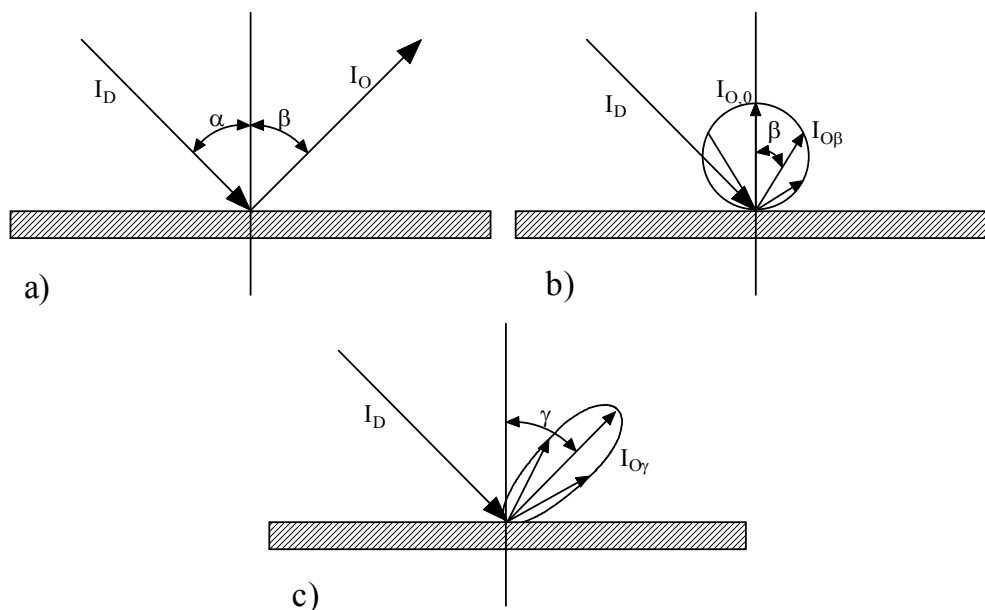
$$\rho = \frac{\int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}, \quad (-; \text{W} \cdot \text{nm}^{-1}, -, -, \text{nm}) \quad (3.3)$$

kde $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ je spektrum dopadajícího zářivého toku a $V(\lambda)$ je poměrná spektrální citlivost oka normalizovaného pozorovatele (Obr. 3-3).

Pro integrální činitele τ a α platí obdobné vztahy a vyplývá z nich, že výsledná integrální hodnota odrazivosti, propustnosti a pohltivosti je závislá na spektru dopadajícího záření. Přičemž součin spektra zářivého toku a spektrální citlivosti oka dává spektrum světelného toku a pro celkovou hodnotu světelného toku platí:

$$\Phi = K_m \int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{lm}; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{W} \cdot \text{nm}^{-1}, -, \text{nm}) \quad (3.4)$$

Povrchy různých látek se dále dělí podle rozložení odraženého světelného toku do různých směrů v prostoru. Prostorové rozložení světelného toku charakterizuje svítivost I . Nejjednodušší případ odrazu nastane, dopadne-li světelný svazek pod úhlem α na ideální zrcadlový povrch, nastane zrcadlový odraz a úhel odrazu β se rovná úhlu dopadu; měřeno od kolmice k povrchu (Obr. 3-2a). Tento případ se nazývá zrcadlový odraz. V případě, že se paprsek světla dopadlý na element povrchu po odrazu rozdělí do celého poloprostoru tak, že jas elementu uvažované plochy je ve všech směrech stejný, jde o rovnoměrně rozptýlený (difúzní) odraz Obr. 3-2b. Dokonale rozptýlené svítící plochy se nazývají Lambertovy zářiče. Činitel odraznosti je v tomto případě dán difusní složkou odraženého světelného toku.



Obr. 3-2 Odraz; a) ideální zrcadlový; b) ideální difusní; c) smíšený

V praktických aplikacích se ale vyskytují především odrazy se smíšenou křivkou svítivosti (Obr. 3-2c), kdy jsou křivka svítivosti i činitel odrazu určeny složkami zrcadlového a neideálního rozptylného odrazu. Kromě prostorového rozložení odraženého světelného toku je pro odraz podstatný i směr dopadajícího světelného toku. Dopadající světlo může být opět koncentrované nebo difúzní.

V souhrnu je výsledný činitel odraznosti vypočtený podílem odraženého a dopadnutého světelného toku Φ :

$$\rho = \frac{\Phi_o}{\Phi_D} \quad (-;lm,lm) \quad (3.5)$$

integrální bezrozměrná veličina zahrnující směrovou a spektrální charakteristikou odrazu a směrovou a spektrální charakteristiku dopadajícího záření. V následující Tab. 3-1 jsou uvedeny přibližné hodnoty integrální činitele odraznosti některých povrchů a materiálů při difúzním osvětlení.

Tab. 3-1 Orientační hodnoty činitele odrazu některých povrchů při difúzním osvětlení

| materiál, povrch | činitel odrazu ρ (%) | materiál, povrch | činitel odrazu ρ (%) | | | |
|------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|--------|--------|-------|
| hliník leštěný | 60-72 | dřevo | javorové | 40-50 | | |
| matný hliníkový povrch | 55-60 | | dubové | 30-50 | | |
| chrom leštěný | 60-70 | | ořechové | 10-20 | | |
| bílý smalt | 85-90 | | mořené tmavé | 10-30 | | |
| žula | ~ 44 | malba (zeď) | bílá | 75-90 | | |
| červené cihly | ~ 25 | | červená | světlá | 40-65 | |
| sádra | ~ 80 | | | tmavá | 15-40 | |
| malta velmi jasná | ~ 50 | | zelená | světlá | 35-70 | |
| malta tmavá | ~ 25 | | | tmavá | 11-35 | |
| papír | bílý | | ~ 80 | modrá | světlá | 25-56 |
| | světlé odstíny barvy | | 60-70 | | tmavá | 7-25 |
| | středně tmavé odstíny | | 35-45 | černá | 2-7 | |

3.1.1.3 Úkol měření

Změřte pomocí spektrofotometru Minolta CM-3600d spektrální odraznosti pro různé vzorky.

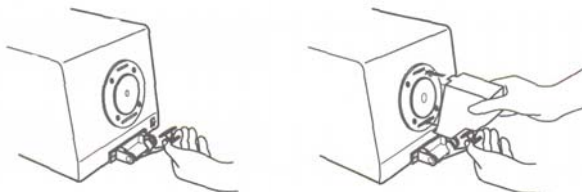
Ze změřených spektrálních charakteristik odrazu vypočtete integrální činitele odraznosti, a to pro případy osvětlení zadanými typy světla, a dále v rozsahu vlnových délek 400-740 nm.

3.1.1.4 Postup měření

1. Zapněte Spektrofotometer CM-3600d
2. Zapněte počítač a spusťte program SpectraMagicNX
3. Otevřete šablonu: *File/Template/Mosv*
4. Připojte spektrofotometr k počítači tlačítkem *Connect*



5. Provedte kalibraci na tmou tlačítkem . Připevněte ke spektrofotometru nástavec pomocí přítlačné klapy




6. Provedte kalibraci na bílou. Připevněte ke spektrofotometru kazetku s referenční bílou barvou pomocí přítlačné klapy



7. Vložte vybraný vzorek a upevněte ho přítlačnou klapkou



8. Spusťte měření tlačítkem *Measure target* 
9. Změřené hodnoty z tabulky překopírujte do Excelu a nastavte záložku *Printing View* a vytiskněte grafy: *File/Print*, zvolte tiskárnu PDF4U Adobe PDF Creator a uložte do *Plocha/Měření CM-3600*
10. Provedte měří pro další vzorky, postup od bodu 7 opakujte

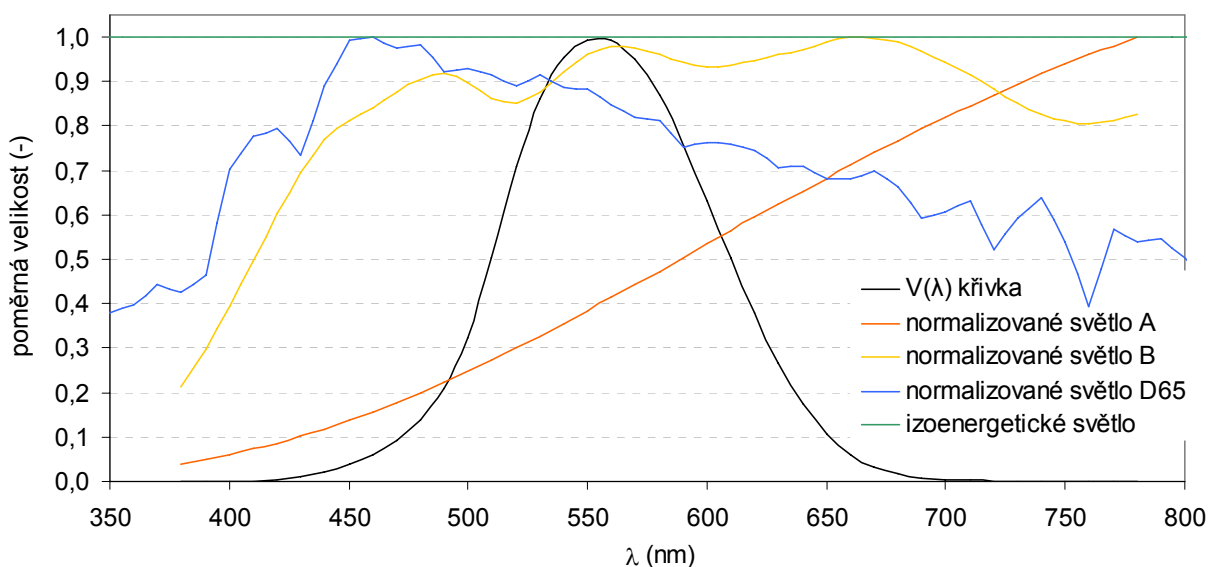
3.1.1.5 Zpracování výsledků

Ze získaných hodnot vykreslete grafy.

Integrální odraznost vypočtete numerickou integrací vztahu (3.3). Spektrální odraznost je změřena s krokem 10nm. Se stejným krokem je v Tab. 3-2 uvedena i $V(\lambda)$ křivka poměrné spektrální citlivosti oka. Výpočet integrální odraznosti provedte pro všechny spektra dopadajícího záření uvedené rovněž v Tab. 3-2. Byly vybrány čtyři druhy světel, tři normalizované (A,B,D65) a jedno ideální (IE). Spektrum normalizovaného světla typu A ($\Phi_{e(A)}$) odpovídá záření teplotního zdroje (žárovky) s teplotou chromatičnosti 2856K. Spektrum normalizovaného světla typu B ($\Phi_{e(B)}$) odpovídá přibližně přímému slunečnímu záření s teplotou chromatičnosti 4874K. Spektrum normalizovaného světla typu D65 ($\Phi_{e(D65)}$) odpovídá nepřímému difúznímu záření oblohy s teplotou chromatičnosti 6504K. Čtvrtým zadaným druhem světla je bíle izoenergetické světlo ($\Phi_{e(IE)}$), které je ideální, s konstantním průběhem spektra. Průběhy z Tab. 3-2 jsou vyneseny na Obr. 3-3.

Tab. 3-2 Poměrná spektrální citlivost oka a poměrná spektra zářivých toků vybraných typů světél v rozsahu vlnových délek 380-780 nm

| λ (nm) | $V(\lambda)$ (-) | $\Phi_{e(A)}$ (-) | $\Phi_{e(B)}$ (-) | $\Phi_{e(D65)}$ (-) | $\Phi_{e(IE)}$ (-) | λ (nm) | $V(\lambda)$ (-) | $\Phi_{e(A)}$ (-) | $\Phi_{e(B)}$ (-) | $\Phi_{e(D65)}$ (-) | $\Phi_{e(IE)}$ (-) |
|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| 380 | 0,0000 | 0,0405 | 0,2133 | 0,4242 | 1 | 590 | 0,7570 | 0,5037 | 0,9448 | 0,7528 | 1 |
| 390 | 0,0001 | 0,0500 | 0,2981 | 0,4639 | 1 | 600 | 0,6310 | 0,5339 | 0,9333 | 0,7640 | 1 |
| 400 | 0,0004 | 0,0609 | 0,3933 | 0,7024 | 1 | 610 | 0,5030 | 0,5642 | 0,9381 | 0,7605 | 1 |
| 410 | 0,0012 | 0,0732 | 0,4962 | 0,7766 | 1 | 620 | 0,3810 | 0,5943 | 0,9495 | 0,7444 | 1 |
| 420 | 0,0040 | 0,0869 | 0,6019 | 0,7931 | 1 | 630 | 0,2650 | 0,6241 | 0,9619 | 0,7070 | 1 |
| 430 | 0,0116 | 0,1021 | 0,6962 | 0,7358 | 1 | 640 | 0,1750 | 0,6537 | 0,9733 | 0,7105 | 1 |
| 440 | 0,0230 | 0,1188 | 0,7695 | 0,8901 | 1 | 650 | 0,1070 | 0,6828 | 0,9895 | 0,6793 | 1 |
| 450 | 0,0380 | 0,1369 | 0,8133 | 0,9932 | 1 | 660 | 0,0610 | 0,7115 | 1,0000 | 0,6808 | 1 |
| 460 | 0,0600 | 0,1564 | 0,8410 | 1,0000 | 1 | 670 | 0,0320 | 0,7397 | 0,9990 | 0,6984 | 1 |
| 470 | 0,0910 | 0,1774 | 0,8762 | 0,9750 | 1 | 680 | 0,0170 | 0,7673 | 0,9895 | 0,6645 | 1 |
| 480 | 0,1390 | 0,1996 | 0,9067 | 0,9840 | 1 | 690 | 0,0082 | 0,7941 | 0,9676 | 0,5918 | 1 |
| 490 | 0,2080 | 0,2231 | 0,9190 | 0,9236 | 1 | 700 | 0,0041 | 0,8203 | 0,9438 | 0,6078 | 1 |
| 500 | 0,3230 | 0,2477 | 0,8971 | 0,9282 | 1 | 710 | 0,0021 | 0,8458 | 0,9162 | 0,6311 | 1 |
| 510 | 0,5030 | 0,2733 | 0,8638 | 0,9150 | 1 | 720 | 0,0010 | 0,8704 | 0,8848 | 0,5229 | 1 |
| 520 | 0,7100 | 0,3000 | 0,8524 | 0,8895 | 1 | 730 | 0,0005 | 0,8942 | 0,8514 | 0,5932 | 1 |
| 530 | 0,8620 | 0,3274 | 0,8781 | 0,9141 | 1 | 740 | 0,0003 | 0,9172 | 0,8276 | 0,6374 | 1 |
| 540 | 0,9540 | 0,3556 | 0,9229 | 0,8863 | 1 | 750 | 0,0001 | 0,9393 | 0,8114 | 0,5398 | 1 |
| 550 | 0,9950 | 0,3844 | 0,9619 | 0,8832 | 1 | 760 | 0,0001 | 0,9604 | 0,8067 | 0,3940 | 1 |
| 560 | 0,9950 | 0,4138 | 0,9790 | 0,8488 | 1 | 770 | 0,0000 | 0,9807 | 0,8133 | 0,5671 | 1 |
| 570 | 0,9520 | 0,4435 | 0,9771 | 0,8177 | 1 | 780 | 0,0000 | 1,0000 | 0,8286 | 0,5380 | 1 |
| 580 | 0,8700 | 0,4735 | 0,9619 | 0,8131 | 1 | | | | | | |



Obr. 3-3 Poměrná spektrální citlivost oka normalizovaného pozorovatele a poměrná spektra zářivých toků vybraných typů světla

3.1.1.6 Závěr

Proveďte zhodnocení měření a výpočtů, a měřené vzorky navzájem porovnejte.

Shrnutí: Jak bylo ukázáno, měření odraznosti povrchů je náročná úloha. Především proto, že výsledná integrální hodnota odraznosti je dána mnoha faktory, které způsobují, že její hodnota se může pro jeden stejný materiál lišit podle způsobu a místa aplikace.