

5.4.6 Radiometrické a fotometrické veličiny

Předpoklady:

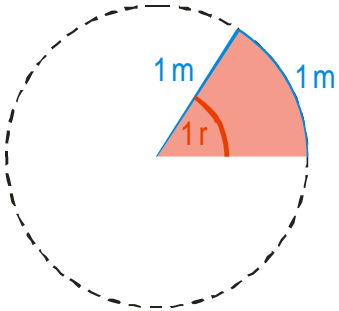
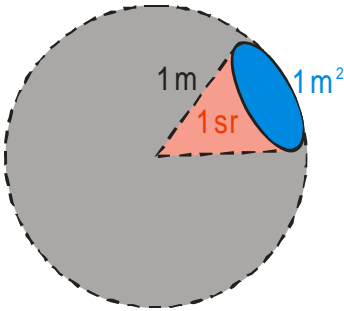
Chceme změřit míru osvětlení (kde je málo nebo hodně světla) \Rightarrow měření bychom mohli založit na energii, kterou přenáší záření (tam, kde by to záření neslo hodně energie, bylo by velké osvětlení a naopak).

Problém: oko není detektor energie \Rightarrow různé vlnové délky vnímá různě (nejlépe žlutozelené světlo) \Rightarrow při osvětlení UV zářením dopadá hodně energie a není vidět nic.

\Rightarrow Používají se 2 sady jednotek:

1. **radiometrické** – založené na tom, kolik energie se přeneše zářením (fyzikálně objektivní, ale neřkají moc o tom, jestli bude dost světla na přečtení knížky),
2. **fotometrické** – založené na tom, jak záření působí na lidský zrak (poznáme z toho, jestli je místnost dost osvětlená, ale nejsou spravedlivé k energii, kterou záření přenáší).

Nejdříve si musíme osvěžit jednotky úhlů.

rovinný úhel φ	prostorový úhel Ω
1 radián [1 r] (přirozená jednotka úhlu)	1 steradián [1 sr] (analogie radiánu v prostoru)
	
Úhel, který vytkne na jednotkové kružnici oblouk o délce 1 m. Obvod kruhu: $o = 2\pi r \Rightarrow$ celý kruh je tedy $360^\circ = 2\pi r \Rightarrow 1r = 57^\circ 18'$	1 steradián – úhel, který ze středu vytkne na jednotkové kouli plochu 1 m^2 Plocha koule: $S = 4\pi r^2 \Rightarrow 1\text{ sr je}$ přibližně $1/12,5$ část celého prostorového úhlu.
Výpočet délky oblouku: $l = \varphi \cdot r$.	Výpočet plochy na kouli: $S = \Omega \cdot r^2$.

Ted' si můžeme udělat přehled veličin.

Přehled veličin	
<u>RADIOMETRICKÉ</u>	<u>FOTOMETRICKÉ</u>
Kolik energie se vyzáří celkem (do všech směrů kam svítíme)?	
Zářivý tok: $\Phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ [J/s=W]	Světelný tok: Φ [lm – lumen] Vyjadřuje světelný výkon svítidel nebo projektorů (typická velikost projektoru 2200 ANSI lumenů).
Kolik z vyzářeného připadá na prostorový úhel? (vyzáření určitého množství energie do úzkého paprsku má jiné důsledky, než když stejnou energii	

vyzáříme do celého prostoru)	
Zářivost: $I_e = \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta \Omega}$ [W/sr]	Svítivost: $I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega}$ [1 cd – kandela]
Kolik z vyzařeného připadá na plochu? (rozbíhavý paprsek světla se se vzdalováním od zdroje rozšiřuje a plocha ve větší vzdálenosti je méně osvětlená než plocha přímo u zdroje)	
Hustota zářivého toku (Intenzita vyzařování) $J_e = \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta S}$ [W·m ⁻²]	Osvětlení: $E_0 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S}$ [1 lx – lux]

Kandela je poslední jednotkou SI.

Definice kandely: 1 cd je svítivost povrchu černého tělesa o obsahu $\frac{1}{600000} \text{ m}^2$ při teplotě tuhnoucí platiny 1773° za normálního tlaku 101 325 Pa .
1cd odpovídá přibližně svítivosti 1 svíčky (candle je anglicky svíčka).

Př. 1: Rozhodni, která z uvedených veličin se používá u technických norem, které popisují instalaci osvětlení v budovách.

Používá se osvětlení, udává množství světla dopadajícího na plochu a zohledňuje tak i vzdálenost plochy od zdroje.

Osvětlení za některých situací:

- hranice tmy: 0,1 lx
- hranice šera: 1 lx
- den při zatažené zimní obloze: 5000 lx
- letní sluneční den: 70000 lx
- doporučená hodnota pro déletrvající zrakovou činnost: 2000 lx

Př. 2: Urči světelný tok svíčky o svítivosti 1 cd. Předpokládej, že svíčka svítí do všech stran stejně.

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega}$$

$$\Delta \Phi = I \cdot \Delta \Omega = 1 \cdot 4 \cdot \pi$$

$$\Delta \Phi = 12,6 \text{ lm}$$

Světelný tok svíčky je přibližně 13 lm (téměř 200x menší než u projektoru).

Př. 3: 100 W žárovka vytváří světelný tok 1300 lm. Urči její svítivost. Jaké osvětlení naměříme na stole vzdáleném 1,7 m?

$$\Phi = 1300 \text{ lm} \quad , \quad r = 1,7 \text{ m} \quad , \quad I = ? \quad , \quad E_0 = ?$$

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega} \quad \text{žárovka svítí do celého prostoru} \quad \Rightarrow \quad \Delta \Omega = 4 \pi$$

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega} = \frac{1300}{4 \pi} \text{ cd} = 103 \text{ cd}$$

$$E_0 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} \quad \text{žárovka svítí do celého prostoru} \Rightarrow \Delta S = 4\pi \cdot r^2 \quad (\text{plocha koule o poloměru } 1,7 \text{ m})$$

$$E_0 = \frac{\Delta \Phi}{4\pi \cdot r^2} = \frac{1300}{4\pi \cdot r^2} \text{ lx} = 35,8 \text{ lx}$$

100 W žárovka má svítivost 103 cd a vytváří osvětlení 35,8 lx.

Př. 4: Urči průměrnou svítivost a průměrné osvětlení na zdi, které způsobuje projektor o světelném toku 2400 lm. Projektor je umístěn 3 m od zdi, na které vytváří obdélník 2 x 1,5 m.

$$\Phi = 2400 \text{ lm} \quad , \quad r = 3 \text{ m} \quad , \quad a = 2 \text{ m} \quad , \quad b = 1,5 \text{ m} \quad , \quad I = ? \quad , \quad E_0 = ?$$

$$\text{Plocha obrazu: } S = a \cdot b = 2 \cdot 1,5 \text{ m}^2 = 3 \text{ m}^2 \quad .$$

$$E_0 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} \quad \text{projektor osvětluje plochu } S = 3 \text{ m}^2 \quad .$$

$$E_0 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} = \frac{2400}{3} \text{ lx} = 800 \text{ lx}$$

Jak spočítat prostorový úhel, který projektor osvětluje?

osvětlený obdélník je přibližně částí povrchu koule o poloměru 3 m \Rightarrow použijeme vztah mezi prostorovým úhlem a plochou na kouli: $S = \Omega \cdot r^2 \Rightarrow \Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{3}{3^2} \text{ sr} = 0,33 \text{ sr}$

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega}$$

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega} = \frac{2400}{0,33} \text{ cd} = 7200 \text{ cd}$$

Projektor vytváří na zdi osvětlení 400 lx, jeho svítivost je 7200 cd.

Poznámka: Z předchozích dvou příkladů je vidět, daleko větší svítivost projektoru oproti žárovce nezpůsobuje ani tak jeho větší světelný tok jako jeho schopnost soustředit paprsky do úzkého kuželu.

Př. 5: Žárovka 60 W vytváří se stínítkem lampičky světelný kužel o svítivosti 1400 cd. Urči, v jaké vzdálenosti od lampičky bude osvětlení dosahovat doporučené hodnoty 2000 lx.

$$I = 1400 \text{ cd} \quad , \quad E_0 = 2000 \text{ lx} \quad , \quad r = ? \quad (\text{výkon žárovky nás nezajímá})$$

nemáme vztah mezi I a $E_0 \Rightarrow$ hledáme ve vztazích, které známe: $E_0 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S}$,

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega} \Rightarrow \Delta \Phi = I \cdot \Delta \Omega$$

$$E_0 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} = \frac{I \cdot \Delta \Omega}{\Delta S} \quad \text{dosadíme vztah: } \Delta S = \Delta \Omega \cdot r^2$$

$$E_0 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} = \frac{I \cdot \Delta \Omega}{\Delta \Omega \cdot r^2} = \frac{I}{r^2} \Rightarrow r^2 = \frac{I}{E_0} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{I}{E_0}} = \sqrt{\frac{1400}{2000}} \text{ m} = 0,84 \text{ m} = 84 \text{ cm}$$

Osvětlení lampičky dosahuje doporučené hodnoty ve vzdálenosti 84 cm.

Shrnutí: Míru osvětlení určujeme pomocí dvou sad veličin: radiometrických (objektivní) a fotometrických (subjektivní, podle působení na lidský zrak).