

5.11 Ověření platnosti fotometrického zákona

5.11.1 Úvod

Při výpočtech světelně technických parametrů v poli svítidel přímkového typu se uvádí, že tato svítidla je možno považovat za bodový zdroj, jestliže jsou rozměry svítidla v porovnání se vzdáleností ke kontrolnímu bodu zanedbatelné.

V ČSN 36 0450 – „Umělé osvětlení vnitřních prostorů“ se za přímkový zdroj považuje takový svítící prvek, jehož největší rozměr je nejméně roven jedné třetině vzdálenosti od nejbližšího kontrolního místa a jeho ostatní rozměry jsou oproti této vzdálenosti zanedbatelné. A dále se za fotometrickou vzdálenost při výpočtech a měřeních považuje vzdálenost kontrolního bodu větší než trojnásobek největšího rozměru svítidla. V takovém případě se uvádí, že chyba řešení bude menší 10ti%.

Jinou definici a pohled na řešený problém podává norma ČSN 36 0010 – „Měření světla“, kde se udává, že čtvercový fotometrický zákon, který se využívá při měření křivek svítivosti, kalibraci luxmetrů a dalších, platí přesně pro bodový zdroj světla. Tedy pro nekonečně velkou vzdálenost reálného zdroje od přijímací plochy měřicího prvku, nebo pro konečnou běžnou měřicí vzdálenost od nekonečně malého bodového zdroje.

Při konečných běžných měřicích vzdálenostech a reálných rozměrech světelných zdrojů vznikají chyby měření či výpočtu, jejichž velikost je dána závislostí na poměru největšího rozměru zdroje (světelně aktivní plochy v případě svítidel) a měřicí vzdálenosti detektoru od něj. S toho plyne, že pro tyto reálné vzdálenosti je třeba změřenou a vypočtenou hodnotu svítivosti korigovat.

K problému fotometrické vzdálenosti přistupuje norma v podobě dvou různých údajů. Naším úkolem bude v rámci laboratorní úlohy tuto fotometrickou vzdálenost změřit, určit její chybu a porovnat ji s teoretickými předpoklady a výše uvedenými údaji.

5.11.2 Rozbor úlohy

Z Úvodu je zřejmé, že skutečnou hodnotu svítivosti vypočteme z naměřených hodnot svítivosti, v různých vzdálenostech od zdroje, ze vztahu

$$I_S = k \cdot I_m \quad (\text{cd}; -; \text{cd}) \quad (5.48)$$

kde k je činitel respektující konečnou měřicí vzdálenost a reálné rozměry zdroje,
 I_m hodnota svítivosti z naměřených hodnot v jisté měřicí vzdálenosti.

Skutečná hodnota svítivosti I_S je pro $h \rightarrow \infty$ $I_S = I_m$.

Je tedy nutno hodnotu svítivosti vypočtenou, z osvětlenosti v konečné vzdálenosti h , fotometrickým čtvercovým zákonem

$$I_m = E \cdot h^2 \quad (\text{cd}; \text{lx}; \text{m}) \quad (5.49)$$

korigovat na přesnou hodnotu pro $h \rightarrow \infty$ činitelem k , který u přímkových zdrojů s malým poloměrem válce ve srovnání s délkou, vyjádříme vztahem

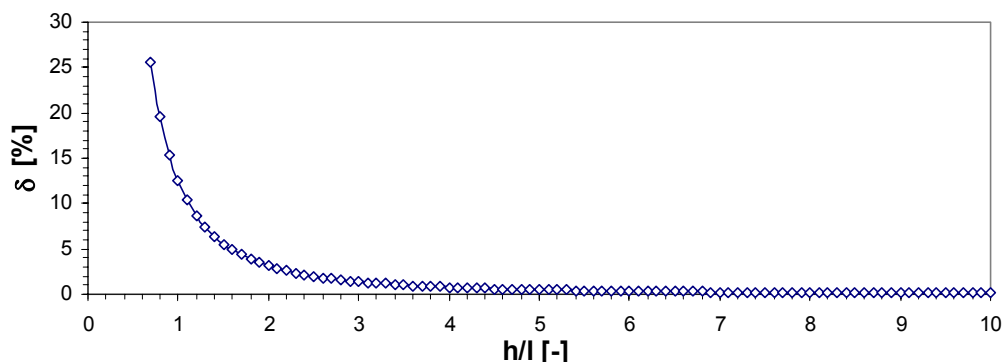
$$k = \frac{1}{1 - \frac{l^2}{8h^2}} \quad (-; \text{m}; \text{m}) \quad (5.50)$$

kde l je celková aktivní délka přímkového zdroje,
 h kolmá vzdálenost přijímací plochy do přímkového zdroje.

Má-li být chyba naměřené hodnoty svítivosti menší než 1%, musí být poměr l/h menší než 0,2. Při splnění této podmínky není třeba, s ohledem na další chyby měření, korekci provádět. To znamená, že pokud je vzdálenost kontrolního bodu větší než pětinašobek největšího rozměru svítidla, pak chyba způsobená tímto klesne pod 1%. Pokud z korekce k vyjádříme chybu měření, dostaneme vztah

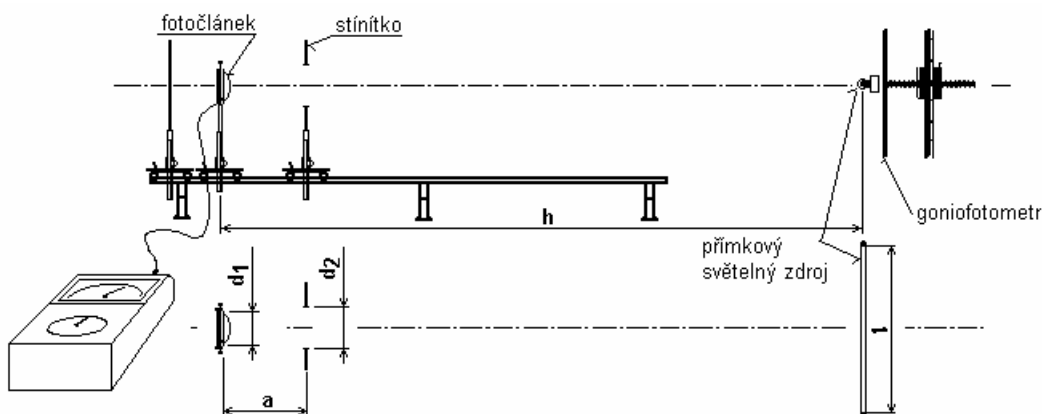
$$\delta = \frac{I_S - I_m}{I_S} \cdot 100 = 100 - \frac{8h^2 - l^2}{8h^2} \cdot 100 = \frac{100}{8 \cdot \left(\frac{h}{l}\right)^2} \quad (\%; \text{cd}; \text{cd}; \text{m}; \text{m}) \quad (5.51)$$

Vynesení hodnot δ v závislosti na poměru h/l do grafu na Obr. 5-20 dostaneme předpokládaný průběh chyby pro homogenní přímkové zdroje, tak jak jej předpokládá norma.



Obr. 5-20 – Průběh relativní chyby svítivosti dle normy u homogenních svítidel přímkového typu v závislosti na poměru h/l

Skutečná chyba měření bude, však vlivem dalších chyb poněkud jiná a lze ji zjistit jedině měření, které za tímto účelem provedeme.



Obr. 5-21 – Schéma principu měření fotometrických veličin

Při měření svítivosti ve vzdálenosti h je třeba nastavit stínidlo do takové vzdálenosti a od fotočláneku, aby se na plochu měřícího čidla promítla celá plocha světelného zdroje či svítidla reprezentovaná délkou l . Potom lze pro vzdálenost a dle Obr. 5-21 napsat rovnici

$$a \leq \frac{d_2 - d_1}{l - d_1} \cdot h \quad (\text{cm}; \text{cm}; \text{cm}; \text{cm}; \text{cm}) \quad (5.52)$$

5.11.3 Úkol měření

Ověřte platnost fotometrického čtvercového zákona pro reálné svítidlo přímkového typu a z grafického zpracování určete jeho rozsah.

Zhodnoťte vhodnost použití korekčního činitele daného normou pro Vámi realizované měření.

5.11.4 Postup měření

1. Upněte daný světelný zdroj (svítidlo) do goniophotometru, připojte je na napětí a nechte ustálit provozní parametry.
2. Nastavte fotočlánek do příslušné kolmé vzdálenosti h od zdroje a rovněž umístěte slonu do odpovídající vzdálenosti a .
3. Změřte hodnotu osvětlení $E_{0,m}$ v rovině zdroje C90, $\gamma=0^\circ$ ve vzdálenosti h .
4. Změňte vzdálenost h a jí odpovídající a .
5. Body 3. a 4. opakujte pro vzdálenosti h od maximální po minimální s krokem asi 0,5m.
6. Proveďte příslušné vyhodnocení.

5.11.5 Zpracování výsledků

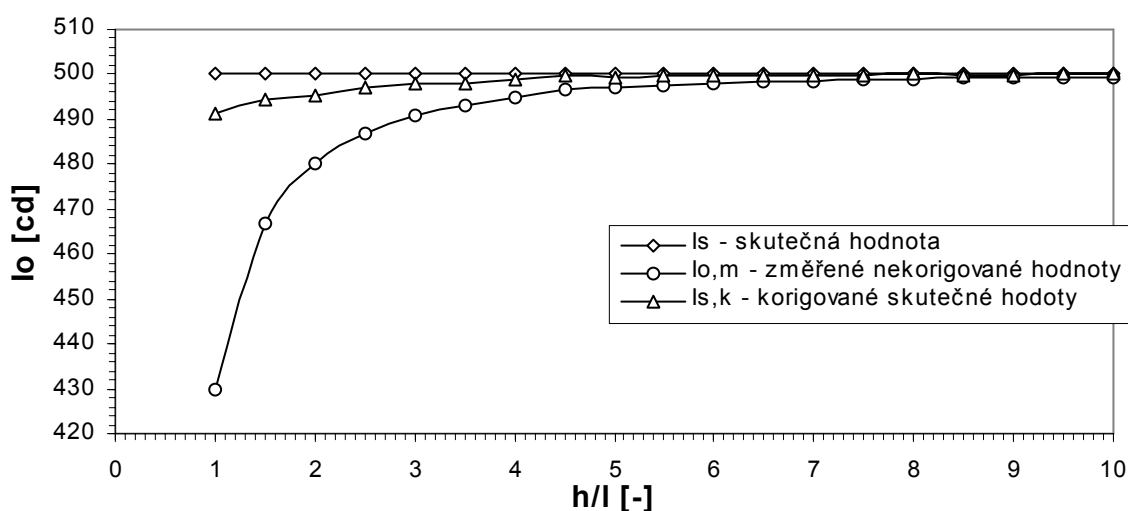
Z naměřené tabulkové závislosti $E_{0,m}$ na h , vypočteme pro danou vzdálenost normálovou svítivost $I_{0,m}$ v rovině C90, ze vztahu

$$I_{0,m} = E_{0,m} \cdot h^2 \quad (\text{cd;l;x;m}) \quad (5.53)$$

Skutečná svítivost, tak jak je popsána v předchozím a definována pro bodové zdroje předcházejícím vztahem, je pro reálné rozměry světelného zdroje takto správně vyčíslena pokud $h \rightarrow \infty$. Bylo rovněž řečeno, že je-li fotometrická vzdálenost h pětkrát větší než největší rozměr zdroje l , bude chyba měřené svítivosti menší než 1%. Jestliže je maximální dosažitelná fotometrická vzdálenost v laboratoři asi $h=9\text{m}$ a největší délka výbojové trubice zářivky, z běžně používaných, je $l=150\text{cm}$, potom je poměr $h/l=6$. Vzhledem k tomu můžeme předpokládat, že změřená svítivost v h_{max} je přibližně rovna skutečné svítivosti. Tímto předpokladem se nám značně zjednoduší další výpočty.

Skutečná chyba měření svítivosti ve vzdálenosti h je tedy

$$\delta_s = \frac{I_s - I_{0,m}}{I_s} \cdot 100 = \frac{I_s - E_{0,m} \cdot h^2}{I_s} \cdot 100 \quad (\%;\text{cd;l;x;m}) \quad (5.54)$$



Obr. 5-22 – Průběh svítivosti I_0 v závislosti na fotometrické vzdálenosti

Tuto chybu vyneseme spolu s předpokládanou za účelem porovnání do jednoho grafu v závislosti na poměru h/l . Stejně tak do dalšího grafu vyneseme průběhy skutečné svítivosti I_s , svítivosti změřené $I_{0,m}$ a svítivosti skutečné korigované $I_{s,k}$, kterou vypočteme pro každou měřenou fotometrickou vzdálenost h z následujícího vztahu a která udává předpokládanou svítivost dle normy (viz. Obr. 5-22)

$$I_{s,k} = k \cdot I_{0,m} \quad (\text{cd;-;cd}) \quad (5.55)$$

Skutečná naměřená chyba svítivosti δ_s a její předpokládaná velikost dle normy δ , tedy vykazují jisté rozdíly, které vynesete jako $\Delta\delta=f(h/l)$, kde $\Delta\delta=\delta_s-\delta$, do samostatného grafu. Z něj je možno analyzovat použitelnost korekčního činitele k pro daný případ měření.

5.11.6 Závěr

Proveďte zhodnocení významu korekce fotometrického zákona pro světelné zdroje a svítidla reálných rozměrů a posuďte vhodnost použití korekčního činitele pro Vámi měřené svítidlo, popřípadě vliv použitých zjednodušení.

Odpovězte na další otázky uvedené v návodu pro toto laboratorní cvičení, či zadané učitelem.